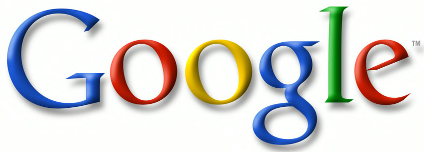
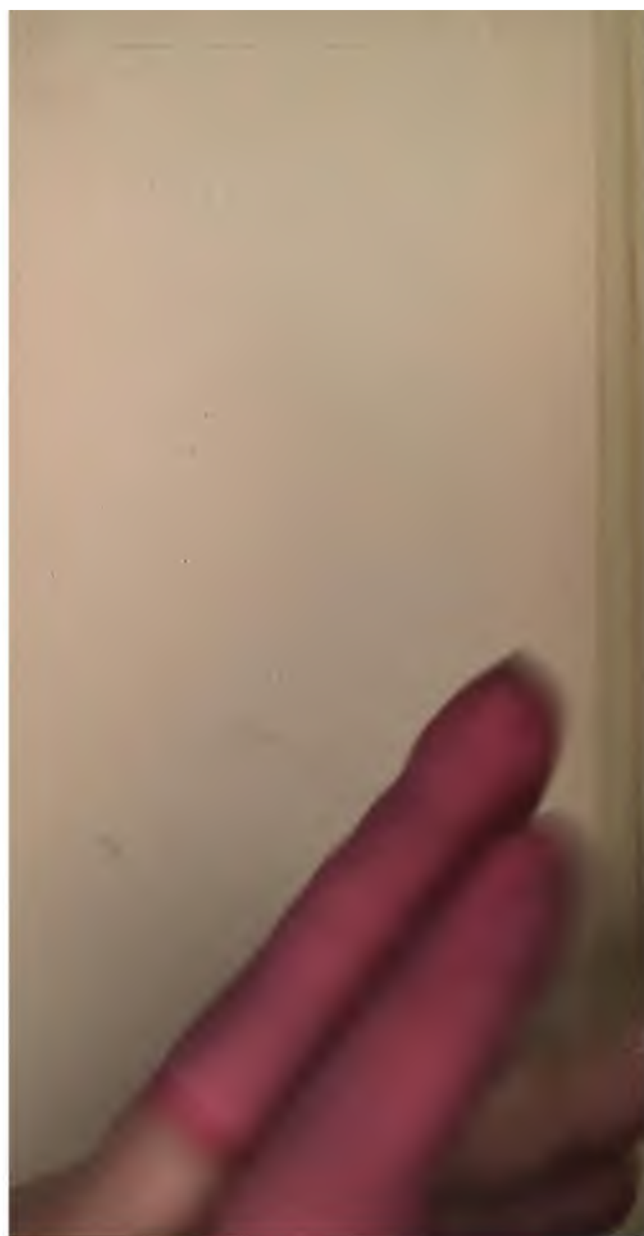
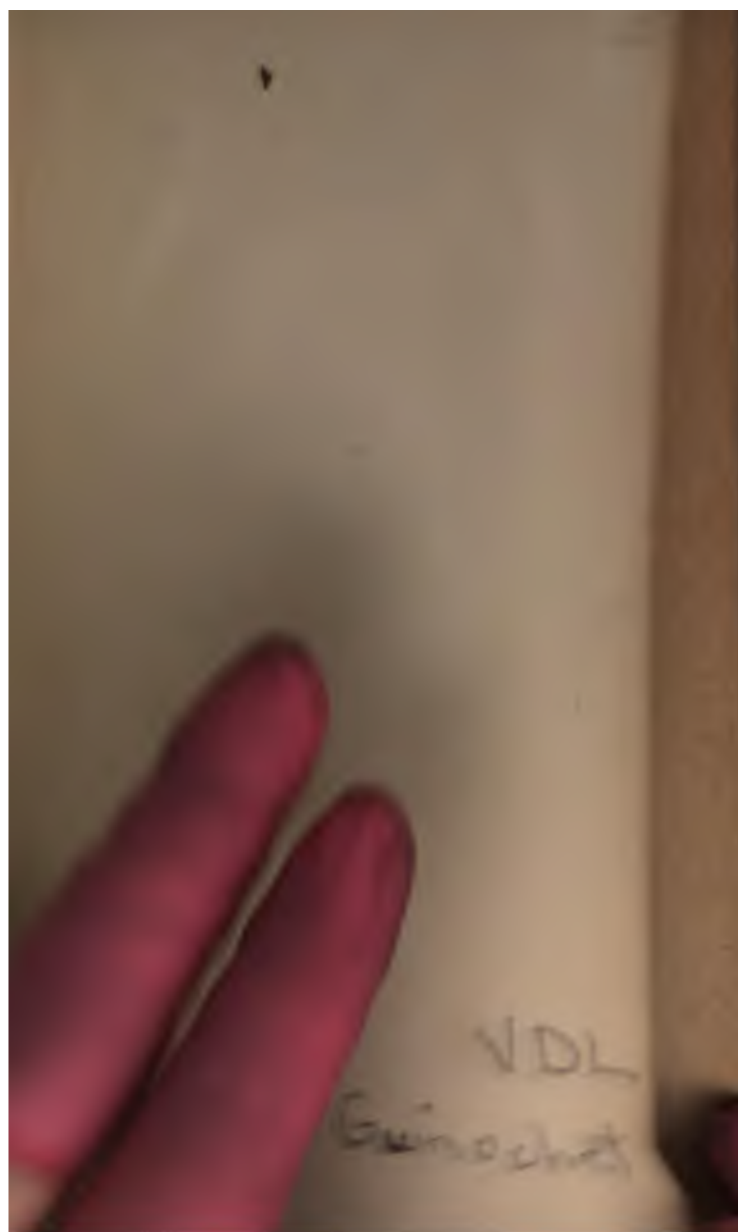
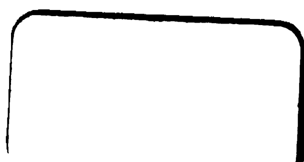







VDL





ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

LES EAUX D'ALIMENTATION

ÉPURATION, FILTRATION ET STÉRILISATION

TRAVAUX DU MÊME AUTEUR

Des Aconitates. Thèse présentée à l'École supérieure de Pharmacie de Paris. Médaille d'or de la Société de Pharmacie (1882).

Sur les Aconitates (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 355).

Action du brôme sur l'acide aconitique et sur l'acide carballylique (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CVIII, p. 300).

Sur les Carballylates (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CX, p. 350).

Analyse du contenu d'un kyste placé sous la langue (*Journal de Pharmacie et de Chimie*, 5e série, 5e année, t. IX, p 475).

Démonstration de la réalité de l'ascite chyleuse (*Journal de Pharmacie et de Chimie*, 5e série, 7e année, t. XIV, p. 169).

Appareil pour évaporer dans le vide à températures variables et fixes (*Archives de Médecine expérimentale*, t. IV, p. 416).

Contribution à l'étude de la toxine du bacille de la diphtérie (*Archives de Médecine experimentale*, 1re série, t. IV, p. 487; *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXIV, p. 1296).

Expériences sur le filtre Chamberland (*Archives de Médecine expérimentale*, 1re série, t. V. p. 646, et *Journal de Pharmacie et de Chimie*, 5e série, 13e année, t. XXVIII, p. 309 et p 484).

Docteur Edm. GUINOCHET
Pharmacien en chef de l'hôpital de la Charité
Professeur à l'École supérieure de Commerce
Officier de l'Instruction publique

LES EAUX D'ALIMENTATION

ÉPURATION, FILTRATION, STÉRILISATION

Avec 52 figures intercalées dans le texte

FILTRATION CENTRALE
GALERIES FILTRANTES, FILTRES A SABLE, PROCÉDÉS INDUSTRIELS
FILTRATION DOMESTIQUE
FILTRATION PAR SUBSTANCES CHIMIQUES, FILTRES DOMESTIQUES, NETTOYAGE ET STÉRILISATION DES FILTRES
STÉRILISATION PAR LA CHALEUR
ACTION DE LA CHALEUR SUR LES EAUX, APPAREILS STÉRILISATEURS

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, RUE HAUTEFEUILLE, PRÈS DU BOULEVARD St-GERMAIN

1894


ASTOR LI
JAN
28
1895
NEW YO

INTRODUCTION

La nécessité pour l'alimentation d'une eau présentant certaines qualités de pureté a préoccupé les hommes depuis des temps fort éloignés.

La définition de la *pureté* d'une eau potable a varié avec les progrès de la science.

Tout d'abord, on ne reconnaissait la pureté d'une eau qu'à ses caractères *organoleptiques :* pas d'odeur, une saveur nulle ou agréable, et de la limpidité. Il est à remarquer que ce caractère de la limpidité de l'eau, comme indice de sa pureté, qui a été noté par les premiers observateurs, soit précisément celui qui préoccupe le plus aujourd'hui les hygiénistes ; il est vrai que nous entendons ce terme dans un sens infiniment plus précis que les anciens ; il ne s'agit plus d'une limpidité facile à constater à la simple vue, mais d'une absence de tout corps solide, même microscopique.

On a fait ensuite entrer en ligne de compte les caractères *chimiques* de l'eau. Celle-ci devait être « douce, légère, moussant facilement avec le savon, lavant bien le linge, cuisant bien les légumes ». Puis

on a précisé ces caractères chimiques; ainsi Chevreul indique que l'eau ne doit donner que de faibles précipités avec l'azotate d'argent et l'azotate de baryum. On connaît le succès de la méthode hydrotimétrique de Boutron et Boudet, encore universellement employée. Et enfin des analyses chimiques, souvent très détaillées, sont faites à des époques régulières dans presque toutes les grandes villes. De l'ensemble de tous ces documents accumulés, on a pu tirer des données précises sur la composition chimique d'une eau potable, et l'on sait aujourd'hui quelles proportions des diverses substances minérales sont nuisibles, et quelles proportions sont, au contraire, nécessaires. On sait qu'une eau ne renfermant pas de gaz en dissolution est lourde, indigeste. L'analyse chimique a aussi conduit depuis longtemps les hygiénistes à indiquer la limite au delà de laquelle la teneur d'une eau en matière organique rend cette eau inacceptable pour l'alimentation publique. On verra dans le cours de ce travail que ce n'est pas tant la teneur globale d'une eau en matières minérales (beaucoup de gens boivent pendant des années des eaux minérales sans inconvénient pour leur santé) et même organiques, qui est importante, que la nature de ces différentes matières; par exemple, une eau peut être chargée de matière organique provenant de terrains tourbeux et être moins malsaine qu'une autre eau en contenant moins, mais renfermant des ptomaïnes, des toxines sécrétées par des microbes pathogènes, etc. On verra aussi que, même à ce point de

vue, l'analyse chimique, en coordonnant les résultats obtenus, a fait de grands progrès, encore bien trop insuffisants, il est vrai.

Nous arrivons enfin à la troisième période, à la période actuelle où ce terme de pureté a pris une extension nouvelle. La connaissance des propriétés organoleptiques et des propriétés chimiques ne suffit plus aujourd'hui pour dire d'une eau destinée à l'alimentation qu'elle est pure ; il y faut joindre la connaissance de ses propriétés *biologiques ;* il faut, en un mot, s'assurer qu'elle ne renferme plus de microbes, ce qui est l'idéal à atteindre, ou au moins qu'elle n'en renferme qu'un très petit nombre, et surtout de non pathogènes.

Cette face de la question a pris une importance considérable depuis une quinzaine d'années, à la suite de la révolution introduite dans les questions médicales et surtout hygiéniques par le génie de Pasteur.

Mais, comme il arrive chaque fois qu'un nouveau courant se dessine dans la science, il entraîne tout avec lui et, pour quelque temps au moins, les autres manières d'envisager une question disparaissent. Ainsi est-il permis de dire qu'il y a peut-être une tendance exagérée en ce moment à ne plus considérer, pour la détermination de la pureté d'une eau potable, que la présence ou l'absence des microbes dans cette eau. Non, il n'est pas vrai de dire, d'une façon absolue, qu'une eau est *pure*, c'est-à-dire bonne à l'alimentation, par ce seul fait qu'elle ne renferme plus même un seul microbe. Car alors

l'eau de la Seine, prise à l'égout d'Asnières, serait tranformée en une eau potable, après une simple filtration même parfaite. Mais la chimie vient affirmer qu'une telle eau n'est pas bonne à boire, car elle renferme encore une proportion notable de matière organique *en dissolution*, et l'on sait en particulier que les matières organiques élaborées par certains microbes sont au plus haut point toxiques.

Les travaux publiés sur la pollution des eaux par la présence des microbes sont très nombreux et le deviennent de plus en plus tous les jours. De cette vaste enquête provoquée dans le monde entier par les médecins et les bactériologistes, et dont le doyen actuel de la Faculté a été un des plus ardents propagateurs, il est résulté cette conviction que certaines maladies épidémiques, dont les plus connues sont la fièvre typhoïde et le choléra, ont comme véhicule de propagation l'eau destinée à l'alimentation. Ces notions ont aujourd'hui pénétré jusqu'au grand public qui sait à quels dangers il est exposé par l'ingestion d'eaux impures et qui exige des pouvoirs publics la distribution d'une eau abondante et saine. C'est l'agitation faite autour de cette question qui a suscité la collaboration avec les médecins, des chimistes, des ingénieurs, des architectes, des administrateurs, comme en témoignent la création d'une Association internationale pour l'eau potable (1878) et l'installation en France de la Commission supérieure pour les eaux (1878). Ainsi peut s'expliquer le nombre vraiment prodigieux de mémoires

parus dans tous les pays sur toutes les questions qui confinent aux eaux : recherche des microbes qui vivent dans les eaux et surtout des microbes pathogènes; relation entre la présence de ces microbes et certaines épidémies; captation, aménagement et distribution des eaux potables; caractères et analyses des eaux potables; clarification, filtration et stérilisation de ces eaux, etc.

J'ai l'intention de traiter exclusivement cette dernière question : épuration, filtration et stérilisation des eaux potables, en montrant conbien de travaux ont été déjà accumulés sur cette partie restreinte des rapports des eaux avec l'hygiène et en apportant ma petite part de travail personnel.

Je diviserai mon sujet de la façon suivante :

La partie expérimentale a été faite dans le laboratoire de M. le professeur Straus, que je prie de vouloir bien accepter mes sincères remerciements et ma vive reconnaissance.

CHAPITRE PREMIER

Généralités.

La transformation successive des idées que je viens d'exposer concernant la pureté d'une eau potable, a nécessairement influé, non seulement sur la manière d'opérer la filtration de l'eau, mais aussi sur le mécanisme de cette filtration.

Filtrer un liquide, c'est le dépouiller de toutes les matières qui sont en suspension, et l'on deviendra d'autant plus exigeant pour un filtre que les méthodes de recherches de ces particules en suspension deviendront plus précises ; c'est ainsi qu'autrefois la limpidité constatée à la simple vue suffisait ; ensuite on a examiné l'eau filtrée au microscope ; aujourd'hui on fait mieux encore, on introduit une parcelle de cette eau filtrée dans un milieu de culture convenable, et l'on constate si aucun microbe ne s'est développé ; on conçoit que

quelques microbes dispersés dans un certain volume d'eau soient impossibles à voir au microscope, même en employant les procédés de coloration si perfectionnés aujourd'hui ; la méthode des cultures, en les multipliant, rend la constatation de leur présence possible.

Quel est le mécanisme de la filtration ?

Les filtres agissent physiquement et chimiquement. En théorie, un filtre est formé par l'assemblage, par la juxtaposition de matériaux laissant entre eux des espaces vides plus petits que les particules en suspension dans le liquide à filtrer ; le mécanisme de la filtration est, dans ce cas, évident. En réalité, les choses ne se passent pas aussi simplement ; les phénomènes de capillarité et ceux d'une sorte d'attraction chimique de la matière filtrante pour les substances en suspension et même en dissolution, entrent aussi en jeu.

Ainsi, voyons ce qui se passe avec les filtres à sable que l'on a été à même de bien étudier, puisqu'ils fonctionnent depuis déjà longtemps dans un grand nombre de villes. On sait en quoi ils consistent : on superpose plusieurs couches de matières siliceuses, en mettant à la partie inférieure des cailloux et, en remontant à la surface, du sable de plus en plus fin. On serait tenté de croire que plus on augmenterait la finesse du sable, plus on diminuerait le volume total des vides laissés entre les grains. Le raisonnement et l'expérience démontrent qu'il n'en est pas ainsi. Comme le fait remarquer Duclaux, supposons le sable formé de grains égaux

et sphériques, le volume total en serait égal à celui des cubes ayant pour côté le diamètre de ces petites sphères, et dès lors le rapport des espaces vides au volume total serait égal au rapport entre la différence du volume des cubes et du volume des sphères qui y sont inscrites (c'est bien là le volume des vides) d'une part, et le volume des cubes (c'est bien là le volume total) d'autre part. Or, on sait qu'une sphère inscrite dans un cube a un volume qui est environ la moitié de celui du cube ; il en résulte donc que le rapport du creux au volume total est d'environ 1 à 2, et cela est absolument indépendant de la grosseur des sphères ; celles-ci peuvent diminuer indéfiniment, ce rapport ne cessera pas d'être exact. Donc, en théorie, quelle que soit la finesse des grains de sable, dans un mètre cube il y aura toujours 500 litres de vide. En réalité, les grains ne sont pas géométriquement sphériques et surtout ne sont pas tous d'égal diamètre, les petits viennent se loger entre les gros ; il en résulte que le volume des vides est plus petit en général que celui indiqué par la théorie. Et, chose curieuse, la pratique est venue démontrer que ce rapport entre le volume des pleins et le volume des vides était à peu près constant ; c'est ce qui résulte des études de Piefke qui a expérimenté cinq espèces de sable de plus en plus fin, et qui a trouvé que le rapport de l'espace vide au volume total avait varié seulement de 29 à 34 pour 100. On peut donc admettre, d'une façon générale, que dans un filtre à sable, au moins dans les couches composées de sable fin, le

rapport entre le volume des vides et le volume total est égal à un tiers, c'est par conséquent le volume de l'eau qui occupe le filtre.

Est-il donc nécessaire d'augmenter la finesse des grains qui composent un filtre, puisque le volume des vides ne variera pas? L'expérience a depuis longtemps répondu que la filtration était d'autant plus parfaite que les grains étaient plus fins. C'est qu'en effet, ce n'est pas tant le volume total des vides qui est important, que la grandeur de chacun de ces vides; plus les grains sont petits, plus ils sont nombreux dans un même espace, et par suite plus les espaces vides qu'ils laissent entre eux sont petits à leur tour. Il se produit dès lors des phénomènes de capillarité d'autant plus intenses que ces espaces lacunaires sont plus étroits, ce qui amène deux résultats heureux pour la filtration, la régularité de l'écoulement de l'eau à travers le filtre d'une part, et la fixation des particules solides en suspension dans l'eau, d'autre part.

Duclaux, pour les cloisons poreuses, et Brunhes, pour les masses filtrantes de gravier, ont démontré que la vitesse d'écoulement à travers un filtre était sensiblement constante. « La force motrice, représentée par la pression de l'eau qui pèse sur le filtre, rencontre devant elle une résistance qui, l'expérience l'a prouvé, est proportionnelle à la fois à l'épaisseur de ce filtre, si le filtre est homogène, et à la vitesse du liquide dans les espaces lacunaires, toutes les fois que cette vitesse n'est pas trop grande. Quand ces espaces lacunaires sont irréguliers, l'eau

ne les traverse pas avec une vitesse constante. Mais la loi reste vraie pour la vitesse moyenne. On peut donc écrire, en s'appuyant sur l'expérience :

$$v\,e = m\,h$$

h représente la pression en eau sur la partie supérieure du filtre, v la vitesse moyenne dans le filtre et e son épaisseur. On exprime ainsi qu'il y a égalité, c'est-à-dire équilibre entre la puissance et la résistance et que le mouvement de l'eau est uniforme avec la vitesse v dont la valeur est

$$v = m\frac{h}{e}.$$

Pour avoir une idée de ce qu'est le facteur m introduit dans l'égalité, il faut supposer $h = 1$ et $e = 1$, c'est-à-dire se représenter un filtre d'épaisseur égale par exemple à un mètre, fonctionnant sous la pression de un mètre d'eau ; on aurait alors $v = m$, ce qui revient à dire que m est, en mètres, la vitesse du courant d'eau traversant ce filtre. Cette vitesse étant évidemment d'autant plus petite que le filtre est formé de sable plus fin, m diminue avec la grosseur des éléments du filtre, et même beaucoup plus vite qu'eux. La loi de variation est impossible à donner quand les espaces lacunaires sont irréguliers, mais m varie comme la quatrième puissance du diamètre dans les tubes capillaires. La diminution est donc rapide quand le diamètre diminue. »

Cette régularité dans la vitesse d'écoulement du liquide à travers un filtre est importante parce qu'elle permet à l'attraction des parois formées par

les espaces lacunaires de la matière filtrante, de s'exercer sur les particules en suspension. Celles-ci sont d'abord attirées et comme collées contre ces parois par le phénomène physique d'attraction moléculaire qui s'exerce, on le sait, entre tous les corps, et par suite entre les corps solides, et dont la force croît en raison inverse du carré des distances, ce qui explique que plus les espaces lacunaires sont petits, plus ces particules sont attirées avec force. On conçoit aussi que plus la vitesse d'écoulement est lente, plus l'attraction moléculaire a le temps de s'exercer ; l'attraction du liquide pour le liquide qui détermine l'écoulement étant contrebalancée par la force d'attraction des parois filtrantes.

Mais y a-t-il seulement en jeu un phénomène d'ordre physique ? Il est facile de se rendre compte que les choses sont plus compliquées. On a comparé, et avec juste raison, cette fixation des particules en suspension dans un liquide contre les parois d'un filtre, à la fixation des matières colorantes sur les fibres d'un tissu ; or, on a démontré depuis longtemps que, dans ce dernier cas, il n'y avait pas une simple fixation d'ordre moléculaire, mais une espèce de combinaison chimique de nature assez vague, parce que jusqu'ici on n'a pas pu pénétrer assez avant dans l'étude de ces phénomènes qui confinent à la fois à la physique et à la chimie.

L'expérience est venue aussi montrer toute l'importance de la nature de la matière employée à la

confection d'un filtre, et comme nous l'allons voir par de nombreux exemples, il n'y a pas seulement fixation sur les parois d'un filtre des matières en suspension, mais aussi de certaines matières en dissolution.

P. Frankland, dans son *Étude sur l'action des filtres sur les organismes de l'eau*, a essayé successivement le charbon animal, le fer spongieux, le coke ordinaire, le sable argenté pur, le verre pulvérisé, la brique pulvérisée, le grès vert ferrugineux.

Il a obtenu les résultats suivants, en agitant 1 gramme de matière filtrante, pendant quinze minutes, avec 50^{cc} d'une eau rendue artificiellement impure par l'addition d'urine.

Nombre des colonies microbiennes par centimètre cube d'eau avant et après agitation avec la matiere pulvérisée :

	Avant.	Après.
	—	—
Fer spongieux.	609	63
Craie	8.325	274
Charbon animal	8.325	60
Coke pulvérisé.	innombr.	0
Kaolin.	innombr.	innombr.
Brique pulvérisée	innombr.	innombr.
Eau de chaux et soude. .	182	4

Il a aussi fait l'expérience en filtrant l'eau impure sur des couches de ces diverses substances, et il a obtenu les résultats suivants :

	LE 1er JOUR		LE 13e JOUR		Au bout de 30 à 37 jours	
	Eau non filt.	Eau filtrée	Eau non filt	Eau filtrée	Eau non filt.	Eau filtrée
Grès vert ferrugineux.	64 à 97	0	8.193	1.071	1.281	779
Charbon animal . . .	innombr.	0	2.792	0	1.281	6.958
Fer spongieux	80	0	2.792	0	1.281	2
Brique pulvérisée. . .	3.112	732			5.937	406
Coke pulvérisé. . . .	3.112	0			5.937	86
Sable blanc non ferrug.	11.232	1.012				
Verre pulvérisé. . . .	11.232	1.012				

Vallin a calculé, d'après ce tableau : 1° le nombre de litres que filtrerait utilement 1 décimètre cube de ces matières et 2° le nombre de jours après lequel le filtre devrait être remplacé :

	Litres.	Jours.
	—	—
Grès vert	87	10
Charbon animal	62	12
Fer spongieux.	120	30
Coke.	150	30
Brique pulvérisée	sans action.	
Sable pur.	sans action.	
Verre pulvérisé	sans action.	

On voit donc que, même en se bornant à l'action des matières filtrantes sur les seuls microbes, et en laissant de côté les autres matières en suspension ainsi que celles en dissolution, Frankland a établi nettement une sorte d'attraction élective variable avec chaque matière ; il n'y a pas jusqu'au sable lavé et au verre pilé, substances douées assurément d'une bien faible action humique, qui n'aient re-

tenu la dixième partie des micro-organismes. Ces expériences nous montrent aussi que certaines substances, très actives pendant les premiers jours, voient rapidement s'user leur action filtrante, par exemple, le grès vert et le charbon animal, tandis que d'autres, au contraire, comme le fer et le coke, la conservent longtemps ; le fer a d'ailleurs été recommandé bien souvent et est la base de procédés appliqués aujourd'hui sur une grande échelle.

L'expérience a montré que, dans les grands filtres des villes, le sable quartzeux était préférable comme matière filtrante aux sables calcaires, mais, d'autre part, qu'une cloison de sable siliceux était inférieure à une cloison d'argile.

Marié-Davy place dans l'ordre suivant, au point de vue de leur valeur filtrante, les substances telles que la terre cuite, l'amiante, la finette, la laine de verre.

Il semble résulter de la plupart des témoignages que c'est l'argile, c'est-à-dire la porcelaine ou la terre cuite, qui offre la plus grande force d'attraction pour les particules en suspension, surtout pour les particules de nature organique. Je crois cependant que, ainsi que le démontrent P. Frankland et surtout un usage longtemps prolongé, c'est le charbon qui tient la tête, mais, pour des raisons particulières que nous étudierons plus loin, cette dernière substance a été rejetée par la plupart des constructeurs de filtres destinés à arrêter les micro-organismes.

Nous avons dit que les filtres ne retenaient pas seulement les matières en suspension, mais aussi

certaines de celles qui sont en dissolution. On connaît l'emploi du noir animal dans l'industrie sucrière pour la purification des jus sucrés, et la fortune, aujourd'hui momentanément arrêtée, du charbon sous toutes ses formes dans la construction des filtres, le charbon étant destiné à retenir un certain nombre de sels et de matières organiques en dissolution.

Wit a fait sur les eaux de la Tamise qui alimentent la distribution de Chelsea, avant et après la filtration, des analyses qui prouvent que les couches filtrantes composées de sable, de coquilles et de petits cailloux, avaient retenu une certaine quantité de sels minéraux en dissolution et une forte proportion de matières organiques. Dans d'autres expériences, en opérant avec des filtres de charbon, on constata que le filtre de charbon avait enlevé cent quarante fois plus de matières minérales et dix-sept fois plus de matières organiques que le filtre de sable.

Dans ces derniers temps, les filtres en porcelaine et en amiante ont été aussi étudiés à ce point de vue. Voici, par exemple, les conclusions d'un travail de Hugounenq, professeur à la Faculté de médecine de Lyon, sur les *Recherches sur le passage des solutions de caséine à travers la porcelaine* :

« 1° Les filtres en porcelaine laissent passer très inégalement les substances albuminoïdes ; la porcelaine d'amiante est traversée plus facilement que le biscuit des bougies Chamberland ;

« 2° Quelques substances albuminoïdes aban-

donnent à la surface extérieure de certaines bougies un résidu qui ne traverse jamais, sans être pour cela fixé dans les pores de la porcelaine ;

« 3° Cependant une petite quantité d'albumine *reste fixée dans la pâte du septum* et résiste aux eaux de lavage ; le dosage des solutions aussi bien que la pesée exacte des appareils filtrants montre que la proportion, très variable d'ailleurs peut atteindre 12 à 15 o/o. La porcelaine d'amiante semble retenir moins de matière que la bougie Chamberland..... »

Arloing, dans une note publiée dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, et intitulée *De l'influence des filtres minéraux sur les liquides contenant des substances d'origine microbienne*, fait voir que certains principes contenus dans le bouillon de culture n'existent plus qu'en partie dans le liquide filtré et il en conclut que le filtre Chamberland a appauvri le liquide d'une quantité notable de substances organiques azotées et hydrocarbonées ; l'appauvrissement n'est pas identique pour toutes les bougies neuves filtrant sous la même pression ; les bougies ayant déjà servi présentent de plus grandes différences encore. Il a aussi expérimenté le filtre Garros à pâte d'amiante.

Ces notions, très importantes au point de vue de la théorie de la filtration, ne le sont pas moins au point de vue pratique ; lorsqu'on veut comparer l'action physiologique d'une culture microbienne non filtrée et de la même culture filtrée à travers un filtre de porcelaine ou d'amiante, comme c'est l'u-

sage dans les laboratoires de bactériologie, il ne faut pas croire que la seule différence entre les deux liquides consiste dans la présence ou dans l'absence des microbes, il peut aussi y avoir une différence dans la composition chimique de ces deux liquides.

Enfin l'analyse chimique faite comparativement de l'eau alimentant le filtre et de l'eau filtrée montre presque toujours des différences. Je ne parle pas ici des grands filtres à sables destinés à l'alimentation des villes sur lesquels nous reviendrons d'ailleurs, où la question se complique de l'action sur la composition de l'eau de la couche feutrée organique et microbienne qui se trouve à la surface. De même qu'il y a des différences notables pour la force avec laquelle les différentes matières composant un filtre retiennent les corpuscules en suspension, il y a des différences du même ordre en ce qui concerne leur action avec les substances en dissolution : ainsi le verre pilé ou filé n'a que très peu d'action sur les corps en dissolution, l'amiante agit déjà mieux ; nous venons de voir que la porcelaine retenait certaines matières albuminoïdes ; il en est de même des pierres qui ont servi si longtemps à la confection des filtres, et surtout du charbon. C'est précisément dans cette propriété, heureuse d'un côté puisqu'elle débarrasse momentanément l'eau de principes non utiles, que gît l'inconvénient de l'emploi de ces dernières matières pour la construction des filtres ; elles s'imprègnent très vite des matières organiques qui étaient dans l'eau et deviennent dès lors un bon millieu de culture pour les microbes qui s'y dé-

veloppent de plus en plus et qui, finissant par gagner toute leur épaisseur, arrivent enfin dans l'eau filtrée.

Maintenant que nous savons par quel mécanisme à la fois physique et chimique les filtres fonctionnent, nous devons aborder l'étude du choix de la matière filtrante. Ce qui précède nous montre qu'on doit d'abord se préoccuper de prendre des matériaux présentant des vides nombreux mais très petits, de façon à constituer un obstacle sérieux au passage des particules en suspension, des microbes en particulier ; les recherchss faites dans ces dernières années ont précisément porté presque exclusivement sur ce point de vue ; les trois substances qui semblent, jusqu'à présent, remplir le mieux ce but, sont la porcelaine, la terre d'infusoire et l'amiante.

Breyer a comparé, au microscope, le diamètre de différentes substances autorisées pour la confection des filtres, et il les place dans l'ordre suivant, en allant du plus volumineux au plus étroit : fil de laine de verre, fil de la soie la plus fine, fil de toile d'araignée, et enfin fil d'amiante.

Non seulemeut on a cherché des éléments très fins, mais on s'est ingénié à les entremêler, à les feutrer de façon à diminuer encore la petitesse des espaces vides ; on n'a qu'à lire la préparation de la pâte d'amiante pour les filtres Maignen, et surtout à micro-membranes de Breyer.

Il ne faut pas, par contre, considérer ce point comme le seul important, et baser sa préférence, pour la confection d'un filtre, seulement sur le

diamètre des particules entrant dans la matière de ce filtre, comme semble le faire Breyer, qui a choisi pour cette raison l'amiante. Il y a, en effet, un second point presque aussi important, c'est l'action de nature chimique un peu vague que la matière filtrante possède de retenir les corps en suspension et même en dissolution. Nous n'avons pas besoin d'insister pour en faire comprendre l'importance. après ce que nous avons dit un peu plus haut; nous rappelons que l'expérience a déjà démontré, pour l'installation des grands filtres à sable, que le sable siliceux était préférable au sable calcaire, que l'argile cuite, c'est-à-dire la porcelaine, l'emportait précisément sur l'amiante bien que celle-ci ait un diamètre sensiblement plus fin. C'est pour cette raison aussi que le charbon a été utilisé depuis si longtemps et qu'on cherche tous les jours à le faire entrer dans la construction de nouveaux filtres.

De même que la petitesse des pores ne suffit pas pour déterminer le choix d'une matière filtrante, de même l'action chimique ne doit pas guider exclusivement; sinon, on ne s'expliquerait pas l'abandon dans lequel est tombé depuis quelques années le charbon, puisqu'il présente cette action au suprême degré. C'est qu'il faut encore, et c'est là une donnée qui résulte des progrès de la bactériologie, que la matière employée ne soit pas favorable au développement des microbes; voilà précisément ce qu'on reproche au charbon qui renferme souvent du phosphate de chaux.

Mais les substances qui semblent condamnées sans recours à cause de cet inconvénient sont toutes les matières organiques, autrefois très employées, telles que les éponges, les tissus de laine, de coton, etc.

Enfin un dernier élément à envisager, c'est la plus ou moins grande facilité de nettoyage présentée par la matière filtrante ; on pourrait s'expliquer ainsi le succès de la bougie Chamberland, car il n'est pas le seul filtre qui réponde aux autres conditions énumérées plus haut, mais il est incontestablement le plus aisé à nettoyer.

Je ne parle pas de la question du prix, bien que ce soit un élément sérieux lorsqu'il s'agit de faire accepter du public ou des municipalités, un filtre quelconque ; le plus souvent le prix de la matière première est peu considérable, eu égard à la dépense nécessitée par la construction et par l'installation du filtre.

Jusqu'à présent nous n'avons parlé que des matières filtrantes, n'ayant pour ainsi dire point d'action chimique sur l'eau, ou seulement cette sorte d'action élective pour certaines substances qui les fixait sur les parois du filtre, comme la matière colorante sur la fibre végétale ; mais cette action est toujours fort limitée, et l'on peut dire en général que la composition chimique de l'eau dans son ensemble n'est pas modifiée. Est-ce un bien ? est-ce un mal ? Lorsqu'il s'agit d'une eau suffisamment pure, au moins au point de vue chimique, et que le problème se résoud uniquement à l'arrêt des mi-

crobes qui peuvent s'y trouver, il est évident qu'il vaut mieux que le filtre n'ait aucune action chimique sur l'eau ; et c'est à ce rôle que devront se borner de plus en plus les filtres, au fur et à mesure qu'on fournira aux populations de l'eau d'une composition de plus en plus convenable.

Nous n'en sommes, hélas ! pas encore là.

On voit donc que, pendant trop longtemps encore on devra demander à une installation de filtrage, autre chose qu'une séparation mécanique des microbes contenus dans l'eau. On devra se préoccuper aussi de purifier l'eau au point de vue chimique. Nous étudierons au cours de ce travail les divers projets qui ont été proposés et mis en pratique pour la purification de l'eau avant sa filtration proprement dite, celle-ci étant toujours un corollaire obligé de la purification ; il se produit des composés insolubles qu'il faut ensuite arrêter, parce que le plus souvent ce sont ces composés insolubles qui renferment les substances nocives, et qu'en tout cas, fussent-elles inoffensives, on ne peut faire accepter comme eau potable qu'une eau parfaitement limpide. Dans la nécessité où l'on se trouve souvent de purifier d'abord l'eau, pour la filtrer ensuite, les inventeurs se sont ingéniés à construire des filtres remplissant ces deux conditions. Je ne parle pas des grandes installations de filtration centrale, mais des appareils domestiques. Nous verrons, chemin faisant, à quelles substances se sont adressés les constructeurs ; qu'il me suffise de signaler en ce moment le succès qu'a eu au Congrès d'hygiène de

Londres de 1884, le filtre Maignen, dans la composition duquel entre une poudre spéciale, dite poudre carbo-calcaire, qui arrête la plupart des corps en dissolution qu'on ajoute dans l'eau ; c'est ainsi que les sels de plomb, de cuivre, etc., ne passent pas dans l'eau filtrée après un contact d'un quart d'heure.

C'est à titre d'exemple que j'ai tenu à signaler ici ce filtre, dans lequel on se propose d'agir nettement sur la composition chimique de l'eau à filtrer ; de nombreux autres filtres se proposent le même but. Comme je l'ai dit en commençant, une eau n'est pas potable par le seul fait qu'elle est débarrassée de tous ses microbes et d'une limpidité absolue ; il y reste trop souvent des corps en dissolution qu'il y a intérêt à enlever, d'où la nécessité de faire agir un filtre sur les substances dissoutes.

Le choix d'un composé chimique ou d'un mélange destiné à agir sur la composition de l'eau pour lui enlever ce qui est nuisible, tout en y laissant les principes constitutifs d'une bonne eau alimentaire, ce choix est des plus délicats. A priori, on imagine aisément que les substances chimiques à employer doivent varier avec la composition chimique de l'eau à purifier ; bien que les prospectus des inventeurs préconisent tous un mélange qui aurait l'heureuse propriété de purifier également bien toutes les eaux, le plus simple raisonnement fait voir qu'il n'en peut être ainsi, la composition des eaux étant très variable. Le problème à résoudre est difficile dans les deux sens : enlever *toutes* les matières dont l'ingestion présente quelque inconvé-

nient, et n'introduire dans l'eau filtrée *aucune* substance devant lui être étrangére. C'est précisément cette dernière partie du problème qui laisse le plus à désirer en pratique; pour ne pas risquer de laisser de principes nuisibles, on est naturellement porté à forcer la dose du mélange purificateur, et le plus souvent on retrouve dans l'eau filtrée un des éléments de ce mélange; l'idéal est d'employer un corps insoluble dans l'eau, mais capable de contracter une combinaison insoluble avec les matières à enlever, par exemple avec les matières organiques ; il semble bien que le fer puisse jouer ce rôle, grâce à certains dispositifs, De ce que le problème est difficile, doit-on l'abandonner? Nous ne le pensons pas, et nous croyons qu'il y aura toujours des cas, de plus en plus rares, espérons-le, où l'impossibilité de se procurer une eau convenable pour l'alimentation, forcera à modifier la composition de la seule eau qu'on ait à sa disposition ; cela est vrai, par exemple, pour les voyageurs, pour les troupes en campagne, surtout dans les colonies, et aussi malheureusement dans un grand nombre de pays civilisés; d'ailleurs les villes traversées par une rivière auront toujours une tendance bien naturelle à se servir de l'eau qu'elles ont pour ainsi dire sous la main. Nous verrons dans le cours de ce travail les moyens qui ont été préconisés ; les résultats obtenus dans certains cas sont d'ailleurs assez encourageants.

Quand on a fait choix des matériaux qui doivent entrer dans la composition d'un filtre, un problème important reste encore à résoudre ; la disposition à

donner aux différents éléments du filtre. Si l'on veut bien réfléchir que le nombre des substances qui sont employées aujourd'hui à la purification de l'eau et à la construction des filtres est assez restreint, tandis que d'autre part le nombre des filtres est très grand, on voit qu'ils ne doivent différer que par la manière dont on utilise ces substances. Ainsi, pour l'installation des grands filtres destinés à l'alimentation des villes, on peut dire qu'il n'y a guère que deux substances employées, le fer et le sable ; et cependant que de différences dans l'agencement de ces filtres ! Aurons-nous affaire à beaucoup plus de substances, si nous passons en revue les filtres domestiques ? Assurément le nombre des corps employés dans les innombrables filtres qui ont vu successivement le jour est assez considérable ; mais si nous éliminons tous les filtres qui sont aujourd'hui abandonnés parce qu'ils ne répondent plus aux éxigences actuelles, pour nous en tenir à ceux qui donnent une eau à peu près privée de microbes, eh bien ! là encore nous constaterons que le nombre des substances ayant obtenu une faveur à peu près unanime est aussi très petit ; l'argile cuite, la terre d'infusoire, l'amiante, voilà à peu près à quoi se bornent les substances filtrantes des meilleurs filtres.

Ce qui influe beaucoup sur la disposition générale d'un filtre, qu'il s'agisse d'une filtration centrale ou d'un filtre domestique, c'est la facilité de son nettoyage. Il est bien évident que tous les filtres, et c'est là un fait inhérent à l'opération même de la

filtration, finissent par s'obstruer plus ou moins, à cause du dépôt des matières à leur surface et même dans l'intérieur de leurs pores ; il en résulte deux inconvénients d'ordre différent, d'une part le ralentissement du débit, et d'autre part, l'envahissement du filtre, même dans ses pores les plus fins, par les microbes qui finissent peu à peu par s'y propager, la couche de matières organiques accumulées sur ce filtre leur constituant un milieu de culture favorable ; nous verrons en effet que les meilleurs filtres se laissent toujours traverser, au bout d'un certain temps, par les microbes. Le nettoyage doit donc porter sur ces deux ordres de faits. Quand le débit a atteint un certain minimum, il faut enlever toutes les matières insolubles qui, en s'accumulant, ont obstrué le filtre ; ce problème a été résolu de bien des façons, soit en les enlevant à la main (à l'aide de pelles, s'il s'agit de grands filtres, ou de brosses pour les petits filtres domestiques), soit par des dispositions mécaniques variées, des chasses d'eau, des frottements produits à la surface par des frottoirs mécaniques, etc. On a préconisé à ce point de vue, comme nous le verrons, des dispositifs véritablement ingénieux.

Rendre le débit à un filtre qui se ralentit, c'est bien ; mais ce à quoi il faut parer surtout, c'est à l'envahissement de ce filtre par les microbes. Quand on a affaire aux grands filtres, il faut changer les matériaux ainsi envahis ; c'est même ce à quoi on est obligé avec la plupart des filtres domestiques ; il en résulte une perte de temps et une

dépense, aussi a-t-on cherché, par des voies différentes, à y remédier.

Dans les usines de filtration centrale, on trouve plus économique de faire précéder la filtration proprement dite par une épuration de l'eau et par une décantation. Pour les petits filtres, on avait espéré d'abord qu'en employant des substances à pores très fins, comme la porcelaine des bougies Chamberland et la pâte d'amiante des filtres Breyer, les microbes seraient tous arrêtés à la surface sans pouvoir pénétrer à l'intérieur et que dès lors un brossage de cette surface serait suffisant. Il n'en est malheureusement pas ainsi ; les microbes finissent toujours par passer, quel que soit la pression de l'eau ou le dispositif employé, telle par exemple que l'addition d'une poudre inerte venant se coller sur la porcelaine, comme dans l'appareil de l'ingénieur O. André. Il faut donc en arriver à stériliser ces filtres domestiques ; plusieurs moyens ont été proposés et mes propres expériences m'ont amené à conseiller un procédé que je crois efficace et pratique.

On voit, en résumé, que la confection d'un filtre parfait n'est pas chose commode à réaliser, ce qui a augmenté, on peut le dire, la déception, c'est ce fait que les filtres considérés d'abord comme remplissant toutes les conditions voulues, ont été reconnus, à l'user, susceptibles de laisser passer, au bout d'un certain temps, quelques microbes. On a donc cherché mieux ; on a voulu réaliser en grand les procédés de stérilisation par la chaleur inventés par

Pasteur et employés couramment dans les laboratoires. Les ingénieurs, mis en présence du nouveau problème à résoudre, ont vite présenté des appareils dans lesquels l'eau est portée à une température suffisante pour amener sûrement la mort de tous les microbes, même à l'état de spores; cette eau est ensuite refroidie dans un réfrigérant, puis filtrée pour retenir les précipités déterminés par le chauffage.

En théorie, et encore ne faut-il se placer qu'au seul point de vue des microbes à détruire, ces appareils sont parfaits, mais en pratique, que d'inconvénients ! On n'obtient ainsi que de l'eau bouillie, et bien qu'on ait cherché à démontrer que sa composition différait peu de la même eau non bouillie, la saveur en est singulièrement modifiée, ce qui n'est pas tout à fait indifférent lorsqu'il s'agit d'eau potable. Cependant, je ne fais pas difficulté de l'avouer, c'est là un mince inconvénient en présence de ce résultat, la destruction de tous les microbes. Il y a malheureusement d'autres objections plus graves. Ce sont des appareils qui fonctionnent sous pression, c'est-à-dire délicats à diriger, il faut un homme spécial, un mécanicien; ils débitent peu, relativement à la dépense qu'ils occasionnent, sans parler du capital nécessaire à leur construction. Enfin, et c'est à mon avis, la plus grosse objection à faire à cet appareil; il ne réalise qu'un seul résultat, la destruction des microbes. Mais n'est-ce rien, m'objectera-t-on, que donner une eau absolument débarrassée de tout microbe? Sans doute, mais je crains bien,

comme je le disais en commençant, que la question des microbes, étudiée avec tant d'ardeur de tous les côtés, ne fasse perdre de vue les autres conditions que doit remplir une eau destinée à l'alimentation. Et cependant, la notion des toxines sécrétées par les microbes doit amener à penser que les matières en dissolution dans une eau impure peuvent ne pas être sans danger pour la santé publique ; c'est d'ailleurs un lieu commun qu'une eau trop chargée de matière organique, dosable par le permanganate, est mauvaise à boire. Eh bien ! dans le cas de ces eaux ainsi polluées (et elles ne sont pas rares encore aujourd'hui ; les eaux de la plupart des rivières des grandes villes sont dans ce cas), les stérilisateurs par la chaleur n'enlèveront pas ces matières organiques et ne donneront pas, par conséquent, de l'eau potable dans le vrai sens du mot. Est-ce à dire qu'il faut condamner ces appareils ? Non pas. Mais il faut les réserver pour certains cas déterminés, par exemple pour fournir de l'eau stérilisée dans les services de chirurgie et d'accouchement, là où la présence des microbes est le danger le plus pressant ; et aussi dans le cas d'épidémies comme celles qui sont causées par la fièvre typhoïde, où il est à peu près démontré que ce sont les microbes contenus dans les eaux qui sont la cause de la maladie. Mais vouloir en faire une méthode générale applicable à la totalité des eaux potables destinées à une ville, par exemple, je crois que ce serait véritablement de l'exagération.

En résumé, on voit qu'il n'y a pas, en pratique,

d'appareil parfait, c'est-à-dire donnant à coup sûr et indéfiniment, avec une dépense en rapport avec le résultat à obtenir, une eau absolument limpide, de saveur agréable, de composition chimique convenable, ne contenant en dissolution aucune substance nuisible, et privée de toute espèce de microbes.

Mais alors, le problème est donc absolument impossible à résoudre ? Je crois que oui, si on veut l'obtenir avec un appareil unique ; et je pense, par contre, qu'on peut approcher du résultat, en ne demandant à chaque appareil que ce qu'il peut donner.

Voici d'ailleurs comment on pourrait entendre l'ensemble des installations destinées à alimenter une ville d'eau pure.

Tout d'abord, autant que cela est possible, se procurer de l'eau naturellement pure, l'eau de source étant considérée comme la meilleure ; c'est là une donnée si bien proclamée par tout le monde que le répéter constitue presque une banalité. On connaît les sacrifices faits par la ville de Paris pour introduire chez elle de l'eau de source.

Dans le cas où il est impossible de se procurer de l'eau de source, soit à cause des dépenses trop considérables, soit même à cause d'une impossibilité matérielle, et si l'on est obligé, par exemple, d'utiliser une eau de rivière, purifier cette eau de façon à la débarrasser des matières organiques en dissolution et à détruire les microbes qui y sont contenus, puis, comme corollaire, la filtrer.

Enfin, que l'eau soit naturellement pure, ou

CHAPITRE II

Filtration centrale.

I. — GÉNÉRALITÉS.

Nous venons de voir que rien ne valait comme eau potable l'eau d'une bonne source ; mais les endroits où les habitants peuvent se procurer sur place une telle eau sont bien rares. Certaines villes, en tête desquelles il convient assurément de câter Paris, ont amené chez elles des eaux captées à leur source même et dirigées dans des conduites fermées. Ce procédé exige une dépense considérable, et d'ailleurs est matériellement irréalisable dans un grand nombre de cas. On comprend alors que les villes traversées par des cours d'eau aient toujours songé à se servir de cette eau. Autrefois ces eaux de rivière étaient assez pures pour servir telles quelles à l'alimentation ; d'ailleurs, on connaissait moins bien qu'aujourd'hui les dangers présentés par l'ingestion

de certaines eaux. On ne déversait pas comme aujourd'hui, au moins pas dans les mêmes proportions, tous les détritus de la ville (une grande partie des déjections humaines et même animales, et surtout les résidus des usines qui se sont multipliées d'une façon si prodigieuse depuis un demi-siècle); les rivières sont de nos jours les véritables exutoires des agglomérations urbaines. Qu'il me suffise de citer ces chiffres dus à Miquel, et constituant une moyenne basée sur trois années d'analyses hebdomadaires : Les teneurs en microbes par centimètre cube d'eau prise respectivement aux usines d'Ivry, d'Austerlitz, et de Chaillot sont : 32.530, 44.490 et 111.660. Il ressort de ces chiffres que si l'impureté de l'eau de la Seine va faiblement en croissant de l'usine d'Ivry à l'usine d'Austerlitz, de l'usine d'Austerlitz au pont de l'Alma, l'eau de la Seine acquiert un chiffre de bactéries plus que triple de celui qu'elle présente à l'usine d'Ivry ; ce fait s'explique aisément par le déversement direct des eaux sales des égouts de l'île de la Cité et de Saint-Louis à la Seine, par la présence de nombreux bateaux-lavoirs qui infestent les eaux de ce fleuve de nombreux organismes de toute espèce. En effet, on sait que dans les lavoirs publics, l'eau qui sert à l'essangeage du linge se charge d'une quantité considérable de microbes : Miquel a trouvé que de l'eau de la Seine employée à cette opération titrant primitivement 10.000 bactéries par centimètre cube, accuse après l'opération de l'essangeage 20.000.000 de bactéries pour le même volume.

Que dire enfin de l'eau de la Seine prise en aval de Paris, après qu'elle a reçu le grand égout collecteur? Il est vrai que ces eaux de rivière se purifient assez vite pendant leur parcours; le nombre des microbes diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du lieu de pollution; il en est de même de la richesse en matière organique titrée par le permanganate; un grand nombre d'analyses faites dans divers pays ont établi ces faits d'une façon indiscutable. On attribue cette purification à l'action de l'oxygène de l'air, des infusoires et des entomastracées, des algues, et enfin principalement de certains microbes.

Quoi qu'il en soit, s'il est une notion universellement répandue aujourd'hui, c'est que l'eau des rivières ne doit pas être consommée telle quelle, mais qu'elle a besoin d'être préalablement purifiée. Le procédé le plus simple est la filtration. Il y a deux méthodes concurremment employées : la construction de galeries filtrantes, latérales aux fleuves, et l'établissement de filtres en sable.

II. — Galeries filtrantes latérales aux fleuves.

C'est le système employé à Toulouse, à Lyon, à Angers, etc. On construit une tranchée parallèle au cours du fleuve, à une distance plus ou moins grande de celui-ci; l'eau du fleuve traverserait les terrains qui séparent le fleuve de cette tranchée et

se trouverait purifiée par cette filtration, pour ainsi dire naturelle. On sait d'ailleurs que le sol constitue un filtre excellent, puisque l'eau de source, qui n'est autre chose que l'eau de la surface après passage à travers la terre, est privée de microbes; il est vrai que l'épaisseur traversée est inconnue et peut être très considérable. Mais on possède des données expérimentales certaines : Miquel a analysé périodiquement pendant deux années les eaux du collecteur de Clichy avant leur entrée dans la case de Clichy et après leur sortie. La case dite de Clichy, qui avait été installée par Durand-Claye, au laboratoire de Clichy, se composait d'une couche de terrain de deux mètres de hauteur représentant successivement, en qualité et en quantité, les terrains de Gennevilliers irrigués par l'eau d'égout. L'eau du collecteur de Clichy, jetée à la surface de la case, titrait environ vingt millions de bactéries par centimètre cube; à sa sortie l'eau ne titrait que 21.700 bactéries en moyenne, c'est-à-dire qu'elle avait abandonné dans son parcours rapide à travers la couche de deux mètres de terre, 990 pour 1000 des bactéries qu'elle contenait.

Ces expériences, effectuées en petit dans le laboratoire de Clichy, ont été répétées en grand sur la presqu'île de Gennevilliers. On sait, en effet, que l'eau d'égout des collecteurs de la ville de Paris est utilisée journellement pour l'arrosage de cette plaine, et que l'eau qui a filtré à travers le sol retourne à la Seine par quatre drains : les drains d'Asnières, d'Argenteuil, de la Garenne et d'Epi-

nay, dont les richesses des eaux en micro-organismes sont les suivantes :

	Microbes par centimètre cube
Drain d'Asnières.........	410
Drain d'Argenteuil........	6.745
Drain de la Garenne.....	7.945
Drain d'Epinay..........	14.795
Moyenne générale....	7.475

Les eaux d'égout de la ville de Paris, qui ont une moyenne générale en microbes égale à 13.800.000 bactéries par centimètre cube, filtrées à travers le sol de Gennevilliers, retournent à la Seine dix-huit cents fois plus pure qu'au moment de l'épandage.

Puisqu'on peut au moyen du sol purifier les eaux d'égout et les rendre parfois presque aussi pures que les eaux de source, il était naturel de penser que les eaux des fleuves, infiniment moins chargées de microbes que les eaux d'égouts dirigées à travers une couche de terre suffisamment épaisse, pourraient de même se purifier et fournir des eaux d'une teneur en microbes presque identique aux eaux de sources les plus pures.

Lorsqu'on analyse, au point de vue bactériologique, les eaux des fleuves et celles qui sont contenues dans les galeries filtrantes latérales, on trouve, en effet, un chiffre bien moindre pour ces dernières. Ainsi les eaux de la Garonne, à Toulouse, ont été trouvées riches de 10.000 à 20.000 bactéries par centimètre cube, tandis que l'eau con-

tenue dans les différents puits creusés sur la partie des berges de ce fleuve appelée *prairie des filtres* n'en renfermait que 675 par centimètre cube. A Toulouse encore, au moulin du Château-Narbonnais où l'on a cru pouvoir utiliser les infiltrations de la Garonne qui se produisent dans l'île du Ramier, l'analyse a démontré dans ces eaux 1.470 microbes par centimètre cube.

Si l'on s'en tenait à ces seules données, on pourrait en conclure que le procédé de filtrage des eaux de fleuve à travers les sables et les graviers des berges est excellent. Mais une question préjudicielle se pose ; l'eau qu'on trouve dans ces galeries latérales, est-ce bien l'eau du fleuve, ou a-t-elle une autre origine ? Provient-elle, par exemple, des infiltrations des eaux superficielles à travers les couches de terrains qui s'étagent de chaque côté du fleuve ? On s'expliquerait alors qu'en creusant une tranchée à la partie la plus basse de ces terres environnantes, c'est-à-dire près du cours du fleuve, qui occupe nécessairement les dépressions naturelles du sol, on recueille dans cette tranchée l'eau provenant du suintement de ces couches perméables inclinées vers elle. La réponse à la question ainsi posée est loin d'être indifférente, comme le fait remarquer Duclaux dans le paragraphe suivant :

« Si c'est vraiment l'eau du fleuve qui pénètre dans la galerie, cette origine est claire. On peut mesurer le débit du fieuve, calculer le degré de variation auquel l'amènent les villes, les habitations ou les industries riveraines, mettre en balance les

avantages et les inconvénients financiers et hygiéniques de la captation, enfin faire un calcul où il entre bien quelques éléments hypothétiques, mais dont les grands éléments sont pourtant assez exactement connus. Tout le monde ne fait pas le calcul de la même façon, parce que tous n'ont pas la même confiance dans les données et ne donnent pas le même poids aux divers éléments du problème. C'est ainsi que, s'il faut en croire M. Jouan, la ville de Nantes n'a pas hésité, en 1857, à puiser directement son eau d'alimentation dans la Loire, et cela à quelques mètres en aval de l'égout d'un grand cimetière et sous des latrines publiques. Mais si une population a, dans une certaine mesure, le droit de s'exposer au danger qu'elle voit, elle a aussi celui de n'être pas exposée à un danger qu'elle ne voit pas, et tel est le cas possible quand l'eau des galeries de filtration provient non du fleuve, mais de la nappe souterraine. »

S'il est vrai, comme le montrent les chiffres cités plus haut, qu'en général l'eau de ces galeries est pauvre en microbes, il faut être prévenu que si elle provient des couches voisines du sol, elle peut être contaminée accidentellement, par exemple lorsque la nappe passe sous un groupe d'habitations, ou reçoit des eaux ménagères, des eaux d'égout ou de latrines. On voit donc combien il est important de connaître l'origine de cette eau.

Belgrand, qui fait autorité dans la matière, dit formellement : « L'eau des galeries filtrantes provient en grande partie des nappes d'eau souterraines. » Dans

une discussion au Congrès d'hygiène de Genève, en 1882, Durand-Claye, en réponse à l'ingénieur Michaud, dit qu'il croit que l'eau trouvée dans les puits et dans les galeries filtrantes de Lyon était non pas de l'eau du fleuve, qui remontait du lit du fleuve dans ces réservoirs, mais bien l'eau qui descendait du haut des collines pour gagner la rivière et qui rencontrait les puits et les galeries sur son passage. C'est là ce qui explique la différence qu'on trouve dans des puits voisins, ces filets d'eau souterraine qui descendent sur le thalweg ayant une composition très variable suivant leur provenance, et il termine en rappelant que Belgrand avait fait cette même constatation pour les eaux d'infiltration de Paris.

Herscher pense d'ailleurs de même.

Bien que l'avis d'hommes aussi compétents soit déjà suffisant pour établir une opinion, voyons sur quelles données on peut se fonder pour montrer que le plus souvent l'eau ne provient pas, en effet, du fleuve, mais des nappes souterraines avoisinantes.

Il y a trois moyens de faire cette enquête, c'est d'étudier comparativement la composition chimique de l'eau du fleuve et celle de l'eau de la galerie filtrante, de noter la température de ces deux eaux et enfin d'en faire l'examen bactériologique.

On a rarement fait l'analyse chimique proprement dite, à cause probablement de sa longueur. D'ailleurs, on ne trouve pas, en général, de grandes différences entre la composition de l'eau du fleuve et la composition de l'eau de la galerie filtrante ;

ce qui peut s'expliquer assez facilement, le fleuve recevant lui-même le plus souvent comme apport les eaux d'écoulement des nappes voisines ; cependant il y a des cas où la différence est bien nette, comme nous le verrons dans un instant.

L'analyse chimique étant trop laborieuse, on s'est plus volontiers adressé à la simple analyse hydrotimétrique qui, lorsqu'elle est faite dans des conditions comparables, donne des résultats très rapides et très précieux. Belgrand y a eu recours plus d'une fois dans ses nombreuses recherches sur le régime des eaux. Ainsi, dans une analyse comparative des eaux de la Seine et de celles d'une galerie de filtration dans laquelle la ville de Fontainebleau puise ses eaux, il a trouvé, pour les titres hydrotimétriques :

Eau de la galerie........	21°20
Eau du fleuve...........	16°75

et, fait intéressant, les eaux de la galerie se rapprochaient beaucoup de celles des sources voisines, dont les titres hydrotimétriques variaient entre 19°60 et 28°80 ; ce qui semble bien indiquer que, dans ce cas, les eaux de la galerie provenaient, non du fleuve, mais de la nappe souterraine.

Mêmes conclusions pour Nevers qui s'alimente dans un puisard creusé sur la rive gauche de la Loire, au milieu des alluvions de la plaine, et où Rozat de Mandres a trouvé des titres de 4°96 dans l'eau de la Loire, et de 27°70 dans l'eau du puisard. Mêmes conclusions encore pour Blois où les chiffres

ont été de 7°76 dans l'eau du fleuve, et de 14°45 dans l'eau de le galerie.

Quelquefois, les différences sont moindres. Ainsi, à Toulouse, les chiffres ont été, dans une expérience, de 13°31 dans le fleuve et de 15°92 dans la galerie. A Lyon, Belgrand a trouvé, le 28 janvier 1860, des différences moindres encore :

Eau puisée dans	le Rhône...........	16°
—	la galerie filtrante....	17°94
—	un autre bassin de filtration...........	18°43
—	un puits du voisinage	23°77

Arloing donne, dans son rapport au Conseil d'hygiène du Rhône les moyennes suivantes :

Eau des galeries de St-Clair..	13°48
Eau du Rhône..............	14°77

Ici, les différences sont à peine sensibles et sont même d'ordre inverse. Il est vrai que ce sont des moyennes. Or, en l'espèce, les moyennes ont bien moins de signification que les chiffres trouvés le même jour dans les deux eaux.

D'autre part, le docteur Rollet, dans sa communication au Congrès de Genève, intitulée : « De l'influence des filtres naturels sur les eaux potables », dit que les eaux des puits de Lyon et des galeries filtrantes construites le long du fleuve par l'ingénieur Michaud ont des titres hydrotimétriques très variables, 17° à 132°, tandis que les eaux du Rhône et de la Saône ont des titres allant seulement de 13° à 17°. De plus, l'eau des puits contient du sulfate de

chaux en notable proportion et non pas l'eau du fleuve.

En résumé, les analyses comparées des eaux des fleuves et des galeries qui leur sont latérales, semblent indiquer que l'opinion de Belgrand est exacte : l'eau des galeries, le plus souvent, ne provient pas du fleuve par filtration à travers le talus de séparation.

En tout cas, l'influence de la nappe souterraine est évidente, et c'est précisément ce qui constitue le danger, à cause d'une contamination possible par les eaux de la surface, ayant par exemple balayé des déjections de typhiques.

Il y a maintenant la question de la température. Il est clair que si l'eau de la galerie filtrante provient du fleuve, elle devra avoir sensiblement la même température au même moment, car, grâce à sa très grande chaleur spécifique, l'eau en grande masse s'échauffe et se refroidit très lentement ; nous avons cité déjà l'exemple des réservoirs de Ménilmontant signalé par Belgrand où, en trois mois, la température n'a pas varié de 3°. Si, au contraire, les deux eaux ont une température notablement différente, elles n'ont pas la même origine. C'est précisément ce qui arrive à Lyon, où les courbes dressées par le service des eaux montrent qu'entre la température de l'eau des galeries et celle du Rhône, il existe une différence moyenne de 8° ; or, le volume d'eau puisé journellement dans les galeries de Saint-Clair est d'environ 50.000 mètres; on ne peut pas admettre un réchauffement sur place pour une si grande masse

d'eau. A Toulouse, d'après Brunhes, la différence est de 6°.

Enfin, reste l'examen bactériologique. Nous savons que, en général, l'eau des galeries est notablement moins riche en microbes que l'eau du fleuue. Cela est évident s'il s'agit d'eau provenant de la nappe souterraine, celle-ci étant toujours assez pure. Mais, d'un autre côté, cela ne prouve pas que l'eau ne provient pas du fleuve par filtration à travers le talus de séparation, puisque les expériences de Mìquel ont démontré qu'une couche de terre même faible pouvait, par filtration, arrêter un grand nombre de microbes.

Il est vrai que nous avons vu, d'autre part, quel était le mécanisme de la filtration de l'eau au travers des filtres de sable au point de vue de la séparation des microbes. Une condition à peu près indispensable, pour obtenir une eau pure, c'est une vitesse faible et régulière et un repos à peu près parfait ; et c'est précisément ce qui ne se produirait pas dans les galeries filtrantes si leur eau venait en réalité du fleuve, car le niveau de celui-ci varie avec ses crues, de même que sa vitesse, variations qui se répercuteraient nécessairement dans le passage à travers les couches de séparation. Il est vrai que, lorsqu'on a creusé ces galeries, on comptait précisément sur ces mouvements irréguliers et rapides pour nettoyer les parois filtrantes par une espèce d'irruption se faisant de temps à autre à travers les graviers et les sables de séparation. Belgrand déjà ne croyait pas cette idée juste ; nous

savons aujourd'hui combien et pourquoi il avait raison.

Et cependant l'eau des galeries filtrantes est peu chargée de microbes. Eh bien! c'est précisément parce qu'elle ne provient pas du fleuve, mais de la nappe souterraine, les eaux de sources étant privées de microbes.

La construction de ces galeries filtrantes est donc à encourager? Comment se fait-il alors qu'elles sont au contraire de plus en plus abandonnées. C'est qu'on n'est jamais sûr de l'origine des eaux qu'elles contiennent, qu'elles peuvent être contaminées sans qu'on en soit averti et qu'elles fonctionnent irrégulièrement.

Quoi qu'il en soit, nous allons en décrire quelques-unes à titre d'exemples.

A Toulouse, les galeries de filtration sont placées dans l'épaisseur d'un banc d'alluvion, composé de sable, de gravier et de cailloux qui règne le long du cours Dillon. La troisième galerie des filtres est située à une distance de 40 mètres de la Garonne, parallèlement à son cours. Cette galerie filtrante a 250 mètres de longueur; elle est ouverte à 1^m14 au dessous des plus basses eaux. L'aqueduc, qui doit recevoir les eaux filtrées est composé de deux murs en briques superposées sans ciment et recouvertes de dalles de pierre; il a 0^m60 de largeur et 1^m50 de hauteur. L'espace compris entre l'aqueduc et les parois de l'excavation est rempli de gros cailloux bien lavés. Au dessus on a répandu une couche de gravier de 0^m66 d'épaisseur, puis on a comblé avec

de la terre sablonneuse extraite de la fouille, et on a semé du gazon à la surface. Ce filtre fournit par jour 2.800 mètres cubes d'une eau limpide et d'une température égale.

La filtration naturelle est employée aussi pour la purification de l'eau de la Loire, près d'Angers. La prise d'eau est faite dans une île de la Loire dite île du Château, qui contient un des quartiers de la petite ville de Ponts-de-Cé ; on a donc creusé une galerie dans cette île, entièrement formée des sables de la Loire.

A Lyon, c'est aussi le système des galeries filtrantes qui est chargé de fournir de l'eau potable aux habitants. La galerie existant le long de la rive droite du Rhône, dite galerie Saint-Clair, est une espèce d'aqueduc en béton, enfoncé à 3 mètres au dessous de l'étiage du fleuve ; sa largeur est de 5 mètres et sa longueur de 150 mètres. L'eau pénètre dans cette galerie après avoir filtré à travers les cailloux et les sables voisins, et par l'intermédiaire de plusieurs puits creusés en amont de la tête de cette galerie.

Comme cette galerie filtrante était insuffisante pour les besoins de Lyon, que, d'autre part, ses propriétés filtrantes diminuaient de plus en plus, et qu'enfin l'eau y contractait de mauvaises qualités, l'ingénieur Michaud avait proposé de faire venir des eaux de source de la vallée basse de la rivière d'Ain. Ce projet a été abandonné, et l'on y a substitué celui de l'ingénieur Clavenad qui consiste à introduire des modifications dans le service de Saint-

Clair et à créer un nouveau service sur la rive gauche du Rhône, ou système du Grand-Camp. C'est donc non seulement le maintien, mais même l'extension du système des galeries filtrantes, condamné cependant par la plupart des hygiénistes. Il est juste d'ajouter que les rapports présentés au Conseil d'hygiène du département du Rhône par le professeur Arloing présentent des objections sérieuses contre ce projet, regrettent le projet d'adduction d'eau de source (eau trop chaude, imparfaitement filtrée), et indiquent enfin les améliorations nécessaires dans le cas où l'on serait obligé de subir les galeries filtrantes (supprimer les puits existants, n'en pas créer de nouveaux, la galerie à creuser parallèlement à la rive gauche du Rhône devra être située à 20 ou 25 mètres des bords du fleuve, etc.)



III. — Filtres a sable.

La filtration consiste, dans ce procédé, à faire passer l'eau à travers une couche plus ou moins épaisse de sable et de gravier.

Les dispositions pratiques pour ce filtrage en grand, varient beaucoup. En principe, un filtre artificiel se compose habituellement d'un grand réservoir contenant une couche de gravier, surmontée d'une couche de sable fin. L'eau arrive sur le sable fin, passe sur le gravier, et après s'être ainsi

débarrassée des matières qui la troublaient, elle s'introduit limpide dans les conduites qui partent du fond du bassin. De temps en temps, on enlève la couche supérieure du filtre, composée de sable fin, qui a retenu la plus grande partie des matières en suspension, on la jette et on la remplace par du sable neuf. Il faut, on le comprend, pour que le service ne soit pas interrompu pendant le nettoyage, avoir deux bassins semblables. Ce genre de bassins filtrants est très employé en Angleterre.

Les eaux de la Tamise, à Battersea, à Lambeth (*Fig.* 1), au dessus de Londres, arrivent dans deux grands réservoirs creusés dans le sol, et ayant environ 5.000 mètres carrés de superficie, et 4 mètres de profondeur, ils sont absolument découverts au niveau du sol, ce qui facilite leur contamination. Près de ces réservoirs, sont deux bassins de filtration ayant 80 mètres de long sur 58 mètres de large. Les grands réservoirs sont des réservoirs de décantation destinés à la clarification de l'eau par le repos, ils communiquent par un canal avec la Tamise et se remplissent au moyen d'une vanne qu'on lève au moment des crues ; au fond de ces réservoirs existe une rigole demi-circulaire dans laquelle se rassemblent les matières les plus grossières, le dépôt de ce sédiment étant facilité par la pente du fond du bassin aboutissant à cette rigole. Un peu éclaircie par le repos dans ce bassin de décantation, l'eau passe au moyen d'une conduite construite en pierre et de près d'un demi-mètre de diamètre dans les bassins de filtration.

Dans chacun de ceux-ci existent six canaux séparés par un intervalle d'un mètre et demi, ces canaux

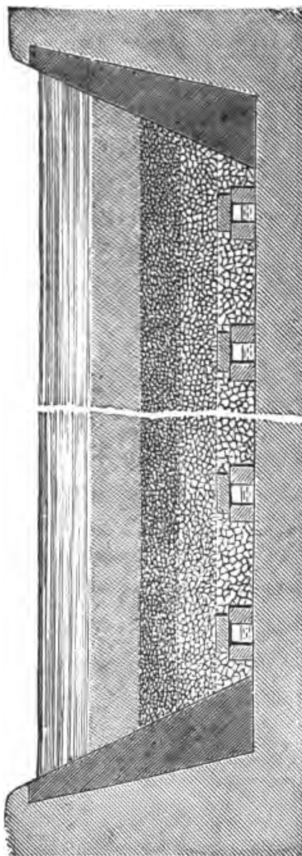


Fig. 1. — Filtre de la Compagnie Lambeth; filtration de haut en bas.

en maçonnerie sont percés de trous pour laisser écouler l'eau, qui arrive ainsi sur la couche filtrante,

composée de 0^{m}30 de gravier, puis de 0^{m}25 de sable grossier, et enfin de 0^{m}15 de sable fin ; le tout est surmonté d une couche de 1 mètre de sable de rivière. Après avoir traversé cette masse filtrante, l'eau entre dans des canaux qui la réunissent dans un gros tuyau où des machines à vapeur la prennent pour la distribuer jusqu'aux étages les plus élevés des maisons de Battersea. Ces filtres fournissent par 24 heures, 9.800 mètres cubes d'eau.

Le filtrage des eaux de Chelsea ressemble beaucoup au précédent; les bassins filtrants ont 73 mètres de long sur 55 de large, et fournissent chaque année 5 millions de mètres cubes. Les matières qui composent ce filtre sont en allant de haut en bas : sable fin de la Tamise, sable grossier, coquilles et ballast, gravier fin et gravier grossier à la partie inférieure.

La constitution des filtres de la compagnie Southwark and Wauxhall est la suivante :

Sable d'Harwick....................	0^{m} 75
Gravier Hoggin....................	0 30
Gravier fin........................	0 23
Gravier grossier....................	0 23
Total..............	1 51

La ville de Hall en Angleterre, est approvisionnée aussi d'eau filtrée par le même système, chaque habitant recevant en moyenne 177 litres par jour.

Vallin fait remarquer, avec juste raison, que dans ces bassins l'eau est clarifiée et non épurée, le sable ne retenant que les matières en suspension, et encore pas toutes (Frankland a plusieurs fois signalé la présence de myriades d'infusoires et d'organismes vivants !), mais laisse intactes les matières dissoutes, ce qui n'est pas absolument exact, puisque, dans ses analyses périodiques, Frankland trouve une diminution des matières organiques; voici, par exemple, des chiffres se rapportant à l'eau de la Tamise provenant des usines de la compagnie de Chelsea.

	Carbone organique	Azote organique
Avant la filtration...	5,25	0,46
Après la filtration...	2,68	0,32

Quoi qu'il en soit, lorsque nous étudierons le mécanisme de la filtration dans les filtres à sable, nous verrons pour quelles raisons ces filtres anglais ne donnent pas de bons résultats, surtout au point de vue bactériologique.

A Marseille, on filtre l'eau de la Durance par un procédé analogue. La couche filtrante est composée de :

Sable très fin de Montredon........	0^m30
Sable moyen de Gondes............	0 18
Gros sable de Riom...............	0 08
Petits graviers du Prado de Marseille.	0 10
Pierres concassées passant par un anneau de 0^m06 centimètres	0 12
Total.............	0^m80

Pour nettoyer ces filtres on y fait passer un courant d'eau de bas en haut. Il est bon d'ajouter qu'ils ne fonctionnent pas d'une façon irréprochable et qu'ils débitent souvent de l'eau trouble.

La filtration des eaux de Glascow se fait par un système particulier dit à *gravitation* ou à *gradins*. Voici quelles sont les dispositions des matières filtrantes. L'eau commence par traverser les matériaux les plus grossiers et n'arrive qu'en dernier lieu sur les couches de matières plus fines; mais ces diverses couches, au lieu d'être parallèles, sont disposées en forme de gradins à hauteurs inégales. Les eaux commencent par se clarifier dans deux bassins de décantation, dont l'un contient 349.000 mètres cubes ; l'autre, placé inféricurement, n'a pas moins d'un million de mètres cubes de capacité. De ces réservoirs, l'eau est amenée sur les deux masses filtrantes qui sont composées ainsi qu'il suit : 1° Une couche uu peu épaisse de sable grossier; 2° une masse de cailloux; 3° une couche plus considérable de sable fin. Ces trois couches ne sont pas superposées dans le même bassin, mais bien disposées en gradins, et la communication d'une couche à la suivante se fait au moyen du dispositif que voici : chaque couche filtrante se fait sur un faux fond construit à l'aide de briques posées debout et laissant entre elles un certain espace, ces briques s'appuient sur le tond véritable qui est cimenté, et l'eau qui a traversé cette couche s'accumule entre ces deux planchers, et à l'aide d'un tuyau arrive par la partie inférieure dans un réser-

voir étroit où elle s'élève peu à peu ; lorsqu'elle a atteint la partie supérieure de ce réservoir, elle se déverse sur la couche filtrante qui est placée un peu en contre-bas.

Décrivons maintenant l'installation des filtres de Berlin qui ont fait beaucoup parler d'eux dans ces dernières années. L'eau vient en partie de la Sprée, en partie du lac de Tegel ; elle est filtrée soit à la station de Stralau, en amont de la ville, soit à la station de Tegel, entre Berlin et Spandau. La première possède huit filtres decouverts et trois voûtés, occupant ensemble une surface de 37.000 mètres carrés. A la seconde, il existe vingt-deux filtres, tous voûtés, d'une surface de 50.000 mètres carrés.

Chacun de ces filtres est un bassin en maçonnerie, ciment et béton, à parois étanches, d'une surface de 2.000 à 4.000 mètres carrés. et de 2m50 de profondeur. Des canaux collecteurs partent du fond pour amener l'eau filtrée à un grand réservoir d'où des machines la distribuent. Dans ces bassins, on superpose des couches dont les éléments sont de plus en plus purs. Voici les matériaux employes à la station de Stralau.

Fondation..........	Grosses pierres.	0m305
—	Petites pierres..	0 102
Couche intermédiaire.	Gravier grossier	0 076
—	Gravier moyen..	0 127
—	Gravier fin.....	0 152
ıche filtrante......	Sable grossier..	0 051
—	Sable fin.......	0 559
	Total..............	1m372

A la station de Tegel on emploie :

Gros cailloux.....................	0^m30
Gravier et sable grossier...........	0 30
Sable fin..........................	0 60
Total............	1^m20

On maintient par dessus ce remplissage une certaine hauteur d'eau, hauteur qui varie d'ailleurs avec la durée de fonctionnement du filtre ; il faut s'arranger pour avoir une vitesse de 3 mètres par jour ou de 125 millimètres par heure ; on règle cette vitesse en ouvrant plus ou moins les robinets de sortie, et en maintenant comme je viens de le dire, une couche plus ou moins épaisse d'eau à la surface du sable fin. D'ailleurs le réservoir d'eau pure, dans lequel se réunissent les collecteurs de l'ensemble des filtres, n'est qu'à un niveau inférieur de 50 centimètres à celui de l'eau impure dans les filtres.

Pour mettre un filtre en fonctionnement, on commence par y faire pénétrer de bas en haut de l'eau du réservoir d'eau pure, et cela lentement jusqu'à ce qu'elle dépasse un peu la couche supérieure de sable fin et ait chassé l'air contenu dans les matériaux neufs. On ferme alors la conduite d'eau pure, et on fait arriver l'eau brute, cette fois, à la surface du filtre, jusqu'à ce qu'elle atteigne la cote de 1 mètre au dessus de cette surface. Les choses restent ainsi pendant au moins vingt-quatre heures, afin que les matières contenues dans l'eau puissent se déposer à la surface du sable sous forme d'une

membrane mince à pores très fins. Alors on ouvre peu à peu la communication avec le réservoir d'eau pure, et on laisse arriver lentement aussi l'eau à filtrer sur le filtre; on opère ainsi avec la plus grande lenteur afin de ne pas déchirer la membrane mince de la surface, qui est, comme nous le verrons tout à l'heure, la véritable partie filtrante. Au fur et à mesure du fonctionnement du filtre, cette membrane devient de plus en plus épaisse par l'apport de nouveaux matériaux; il faut, par conséquent, ouvrir de plus en plus les robinets d'arrivée et de sortie, et augmenter par suite la hauteur de l'eau au dessus du sable fin, la seule règle à observer est d'avoir toujours une vitesse uniforme de 125 mm. par heure pour l'écoulement de l'eau filtrée. Dans un travail tout récent, R. Koch conseille même de ne pas dépasser la vitesse de 100 mm.; si on augmente trop brusquement la pression, ou même sans à coups, lorsqu'au bout d'un certain temps, on est obligé pour maintenir même la vitesse de 100 mm. d'avoir une trop grande épaisseur d'eau, il arrive que la membrane filtrante se rompt et alors l'eau filtrée est contaminée. Il convient à ce moment de procéder au nettoyage du filtre. Pour cela on fait écouler l'eau qu'il contient par une conduite spéciale, on enlève à la pelle la membrane vaseuse brunâtre qui recouvre la surface, ainsi que deux ou trois centimètres de sable fin; et le filtre est remis en fonctionnement avec les mêmes précautions que la première fois. On peut enlever ainsi par des nettoyages successifs la moitié et même les deux

tiers de la couche de sable fin, avant d'avoir besoin de la renouveler entièrement. Quant au sable sali, on le soumet à des lavages faits à l'aide de tambours du système Piefke, pour le réemployer plus tard. L'intervalle entre deux nettoyages s'appelle une *periode ;* il est évidemment d'autant plus court, toutes choses égales d'ailleurs, que l'eau à filtrer est plus sale et plus impure. Ainsi à l'usine de Stralau, la durée d'une période a été, en 1888, de 16 jours avec une vitesse moyenne de 1^{m} 1 par jour ; à Zurich où il y a aussi des filtres à sable, la période a été en 1887, pour un filtre couvert, de 48 jours, avec une vitesse moyenne de 4^{m} 5 par jour.

Etudions maintenant le mécanisme de la filtration dans ces filtres à sable. Piefke a institué l'expérience suivante destinée à éclairer cette question. Après avoir rempli de sable stérilisé un filtre dont les parois avaient été lavées avec une solution de sublimé, et après avoir en outre pris la précaution de laisser le tout en contact pendant vingt-quatre heures avec une solution étendue de sublimé, il a ensuite évacué la liqueur antiseptique et a fait fonctionner son filtre à la manière ordinaire, en comptant le nombre des colonies fournies par 1 centimètre cube avant et après filtration. Au lieu d'une diminution dans le nombre des microbes, c'est une augmentation qu'il a constatée, au moins dans les premiers jours. De plus, non seulement l'eau était stérilisée à rebours, mais, au point de vue de la limpidité, la filtration était des plus imparfaite.

Peu à peu le filtre s'est obstrué. Son débit sous une même charge a diminué, et il a fallu augmenter la pression pour maintenir ce débit au même niveau. Peu à peu aussi, on a vu se former, à la surface supérieure du sable, une couche grisâtre, muqueuse, formée de filaments enchevêtrés d'algues, de microbes, de diatomées, le tout empâtant les matières sédimentaires minérales et organiques que toute eau emporte d'ordinaire avec elle. A mesure que s'épaississait, à la surface, cette couche grouillante de vie, le fonctionnement du filtre devenait meilleur au point de vue de la limpidité et de la teneur en microbes. Mais ce n'est guère qu'au bout de deux mois que ce filtre a donné des résultats acceptables, c'est-à-dire que le chiffre des bactéries dans l'eau filtrée était réduit à quelques dizaines par centimètre cube.

Les filtres ordinaires, comme ceux de Berlin par exemple, arrivent plus rapidement à cet état de bon service qu'on désigne en disant qu'ils sont *mûrs.* Mais ils passent par les mêmes phases : à l'origine ils filtrent mal, et ce n'est que lorsque leur surface est recouverte de cette membrane dont nous avons parlé, que le chiffre des microbes dans l'eau qui les traverse est réduit à leur minimum.

Plagge et Proskauer, C. Fraenkel et Piefke, et presque tous les auteurs qui se sont occupés de cette question, en arrivent à cette conclusion, en apparence tout à fait paradoxale, que c'est la couche bactérienne de la surface, et non le sable remplissant le filtre, qui retient les bactéries de l'eau ; le sable

n'est que le support du véritable filtre représenté par la membrane feutrée de la surface. Cette couche de filaments bactériens enchevêtrés est bien moins perméable que le sable ; ce qui le prouve, c'est qu'il faut augmenter la pression à mesure qu'elle s'épaissit pour conserver au filtre son débit, et c'est bien elle qui s'oppose au passage de l'eau et en diminue la vitesse ; car, lorsqu'on l'enlève, les couches sableuses, remises en jeu, se retrouvent avec leur ancienne perméabilité. On comprend bien, dès lors, que cette couche finisse par former paroi filtrante dès qu'elle a pu s'étaler et se feutrer à la surface ; c'est un filtre vivant au lieu d'être un filtre minéral. Nous allons voir, en effet, qu'il s'y passe des réactions dues au fonctionnement d'êtres vivants.

Nous ne pouvons mieux faire, pour éclaircir les divers problèmes que soulève cette question de la répartition des microbes dans un filtre à sable, répartition qui commande le mode de fonctionnement de ces filtres, que suivre pas à pas la si lumineuse critique qu'en a faite Duclaux dans les *Annales* de l'Institut Pasteur.

Etudions d'abord la composition d'un filtre mûr au moment de son complet fonctionnement. A l'origine, ce filtre était formé de sable non lavé et les microbes y étaient distribués à peu près dans toute son épaisseur. Quand il est mûr, on y retrouve également bien encore des microbes dans toutes les parties du filtre, mais plus abondants et très inégalement répartis. Au bas du filtre, la multiplication a été médiocre, mais le peuplement est de

plus en plus abondant à mesure qu'on remonte vers la surface, et, à la surface même, le nombre des germes par centimètre cube est très grand par rapport à ceux qu'on trouve dans 1 centimètre cube de sable de la couche inférieure.

Cette répartition des microbes dans les différentes couches du filtre explique pourquoi la vitesse d'écoulement doit toujours être très faible, car un courant un peu fort balayerait de l'eau ces microbes accrochés pour ainsi dire sur les grains de sable qui leur servent de support ; ils y ont été fixés et ils y sont retenus par la force d'attraction moléculaire : il ne faut pas, par conséquent, que la force d'entraînement due à la vitesse du courant l'emporte sur cette attraction moléculaire. Car, et il n'est pas superflu de le redire encore ici, si les microbes sont retenus, ce n'est pas qu'ils soient plus volumineux que les espaces libres laissés entre eux par les grains de sable, même les plus fins, qui les retiendraient alors à la manière d'un tamis ; mais c'est que dans ces très petits espaces lacunaires il se développe une force considérable, l'attraction moléculaire, qui happe pour ainsi dire au passage tout ce qui se trouve dans sa zone d'action, c'est-à-dire tout ce qui se passe à une certaine distance des parois de ces espaces lacunaires, distance qui varie avec la masse des corps à attirer.

En outre de cette considération d'ordre physique qui explique pourquoi les microbes de la membrane feutrée de la surface et des couches supérieures ne sont pas entraînés, au moins le plus grand nombre,

dans les parties inférieures du filtre, et de même pourquoi les microbes de l'eau impure s'accumulent de plus en plus dans les parties superficielles, il y a lieu d'examiner s'il n'y pas aussi des raisons d'ordre chimique.

En admettant le débit préconisé par R. Koch de 100 mm. à l'heure, il en résulte qu'une couche de sable fin de 60 centimètres (car il n'y a guère que cette couche qui agisse efficacement, les graviers et les cailloux du fond n'étant que son support) laisse à peu près pendant six heures l'eau qui la traverse en contact avec les microbes qui la peuplent; il n'est pas possible qu'il ne se produise pas, pendant ce long contact, des réactions entre les microbes et les matières organiques que l'eau contient.

Ces matières organiques sont, il est vrai, en faible proportion dans l'eau; mais, contrairement à ce qu'on pourrait croire au premier abord, leur *poids* est considérable par rapport au *poids* des microbes contenus dans un même volume d'eau. Ainsi, un litre d'eau de la Sprée contient en moyenne 80 milligrammes de matière organique, en comptant comme telle toute celle qui, dans le résidu évaporé de un litre, disparait quand on calcine à une douce chaleur sans décomposer les carbonates. D'un autre côté, on trouve dans cette même eau 100.000 microbes par centimètre cube, ce qui fait le nombre énorme de 100 millions par litre. Mais en supposant que chacun de ces microbes ait, en moyenne, 1 millième de millimètre de côté, et en leur attribuant la densité

de l'eau, on voit que ces 100 millions de microbes ne *pèseraient* pas un dixième de milligramme. Ce qui revient à dire que le poids de la matière organique est d'environ 800 fois le poids des êtres vivants qui peuvent la consommer.

Les microbes trouveront donc un poids de matière alimentaire largement suffisant ; mais de quelle nature est cette matière organique ? sera-t-elle utile ou au contraire nuisible aux microbes ? car on comprend que la qualité importe plus que la quantité.

On sait que, d'une façon générale, les végétaux et les animaux ont pour caractère de rendre insolubles dans l'eau les matériaux dont ils se nourrissent; tout ce qu'ils rejettent de soluble dans l'eau est formé soit de produits inutilisables, soit de produits usés par la vie cellulaire. Les microbes utilisent les matériaux des êtres vivants et les solubilisent soit par leur action vitale, soit par leurs diastases agissant même après leur mort sur leur propre corps. A peine dissous, d'autres microbes s'en emparent. En somme, les matériaux organiques en solution dans l'eau doivent être formés, sinon en totalité, du moins en forte proportion, de substances ayant subi plus ou moins l'action de la vie cellulaire ou celle de la vie microbienne, et devenues par là moins propre à en alimenter une nouvelle.

On n'a pas fait une étude bien approfondie des matières organiques qui se trouvent dans les eaux, au moins au point de vue qualitatif. On s'est con-

tenté le plus souvent de les doser en bloc à l'aide d'une solution titrée de permanganate de potassium ; il est vrai que, s'il faut en croire Tiemann et Preusse, les matières organiques les plus facilement brûlées par le permanganate en solution acide, sont les matières les plus complexes, les plns nutritives pour les microbes, les plus éloignées de l'état sous lequel les amène la vie microbienne. Il en résulte que ce dosage donnera des indications dont on pourra tenir compte ; s'il indique dans une eau un chiffre élevé de ces matières, cette eau sera favorable à la multiplication des microbes ; un chiffre faible témoignera du peu de chances qu'auront les microbes d'y pulluler.

D'un autre côté, il est un certain nombre de matières organiques peu sensibles à l'action du permanganate en solution acide, peut-être précisément pour les mêmes raisons qui les rendent aussi très résistants vis-à-vis de la combustion oxydante de l'organisme. Or, nous avons souvent le plus grand intérêt à connaître ces substances qui nous renseignent sur la provenance de certaines eaux, par exemple l'urée qui nous fait soupçonner dans une eau le suintement de fosses d'aisances, l'acide benzoïque de l'urine des herbivores, les produits amidés, leucine, tyrosine, glycocolle, produits vitaux de transformation des matières azotées. Tous ces corps peuvent se transformer à l'état d'ammoniaque sous l'influence des alcalis, et mieux du permanganate de potassium, cette fois en solution alcaline.

Il est vrai qu'il existe déjà dans l'eau de l'ammo-

niaque toute formée, qu'il faudra distinguer de la précédente, parce qu'elle n'a pas la même signification. Elle a une origine assez complexe et pas très bien connue. Il s'en produit par l'action des microbes sur les matières azotées, et par suite sa présence peut être un témoin de l'existence dans l'eau des produits de fermentation des matières animales, peut-être même de produits de la décomposition de l'urée qu'une diastase transforme facilement en carbonate d'ammoniaque. Il s'en produit encore, et surtout par l'action des microbes aérobies qui sont répandus partout, microbes inoffensifs pour la plupart; mais cette ammoniaque peut servir d'aliment à d'autres microbes qui peuvent être nuisibles.

Voici d'ailleurs, quelques associations de caractères qui peuvent aider au diagnostic :

Eau contenant à la fois de l'ammoniaque libre, de l'ammoniaque albuminoïde et une petite quantité de chlore : contamination probable par des gaz d'égout.

Ammoniaque libre avec beaucoup de chlore et d'ammoniaque albuminoïde : contamination par les eaux d'égout.

Ammoniaque libre avec très peu d'ammoniaque albuminoïde, mais une grande quantité de chlore : contamination par l'urine.

Ammoniaque libre, mais sans ammoniaque albuminoïde, ni chlore : contamination par des matières végétales, peut-être marécageuses.

Maintenant que nous savons comment doser les

principales matières intéressant la vie des microbes, nous pouvons nous faire une idée des transformations amenées dans l'eau qui filtre, par les microbes qu'elle y rencontre, surtout dans les couches supérieures du sable. Voici, par exemple, les résultats moyens pour l'année 1888 donnés par la Commission des eaux de la ville de Zurich; les chiffres expriment des milligrammes et se rapportent à un litre d'eau :

	Oxygène consommé.	Ammoniaque albuminoïde.	Ammoniaque libre.	Microbes.
	—	—	—	—
Avant filtration.	3,76	0,039	0,009	188.000
Après filtration.	3,04	0,023	0,003	19.000

On voit que l'eau perd, en passant au travers du filtre, la presque totalité de son ammoniaque libre, une partie de sa matière organique, et surtout de celle que représente le groupe des amides.

Où est le siège principal de cette destruction de matière organique? Une expérience intéressante de Piefke montre que c'est surtout dans les couches supérieures les plus riches en microbes. Au travers de trois filtres du même sable, et dont les épaisseurs, de 0^m70, 1^m4 et 2^m1, étaient entre elles comme les nombres 1, 2 et 3, il a fait passer avec la même vitesse la même eau, analysée à l'entrée et à la sortie au point de vue de son oxydabilité et de la quantité d'oxygène qu'elle contient à l'état libre. L'oxydabilité est évaluée en milligrammes d'oxygène, l'oxygène libre en centimètres cubes par litre.

	Avant filtration.	Après filtration		
		Filtre de 0m7	Filtre de 1m4	Filtre de 2m1
	—	—	—	—
Oxydabilité. .	6,6	5,1	4,7	4,6
Oxygène libre.	7,9	4,8	3,1	»
Microbes. . .	62.840.000		3.700.000	

Si on veut avoir une idée de ce qui se passe dans le premier tiers et dans les deux premiers tiers du filtre le plus épais, on n'a évidemment qu'à retrancher les uns des autres les nombres relatifs à l'oxydabilité et à l'oxygène libre empruntés aux trois filtres qui ont servi à l'expérience. On a alors, en décomposant par la pensée le filtre de $2^{m}1$ en trois filtres superposés de $0^{m}7$ d'épaisseur, $1^{mmg}5$ pour la variation d'oxydabilité dans le filtre supérieur, $0^{mmg}4$ pour le filtre moyen, $0^{mmg}1$ pour le filtre inférieur.

L'effet produit diminue donc dans le même sens que le nombre des microbes, et il semble bien que ce soit ceux-ci qui détruisent la matière organique pour les besoins de leur existence. Il est vrai qu'on pourrait objecter que cette disparition graduelle de la matière organique est due à l'action de l'oxygène libre, puisque celui-ci diminue aussi quand l'épaisseur de la couche de sable augmente; mais si on considère qu'après $1^{m}4$ il en reste encore $3^{cc}1$ sur $7^{cc}9$ à l'origine, la matière organique disparue n'en aurait guère consommé; d'ailleurs, si on fait passer goutte à goutte de l'eau dans un filtre stérilisé de façon à ce que l'eau soit encore très chargée d'oxygène à la sortie, on ne constate pas

de diminution dans le poids de la matière organique.

Il résulte de tout ce qui précède que c'est bien la membrane qui se forme à la surface du sable qui est le véritable filtre, puisque l'eau n'est véritablement filtrée que lorsque cette membrane s'est formée ; on conçoit aussi que plus elle sera épaisse, plus la filtration sera parfaite ; mais, d'autre part, la quantié d'eau filtrée sera moindre. Or, dans un filtre industriel il y a lieu de se préoccuper du rendement, il faut donc chercher à maintenir le débit à peu près constant et nous avons vu qu'on y arrivait en augmentant la pression de l'eau à la surface. D'autre part, le rendement pourra varier aussi avec la plus ou moins grande impureté de l'eau à filtrer ; ainsi à l'usine de Stralau où on filtre l'eau de la Sprée, on ne dépasse guère une vitesse de 1m18 par jour ; à l'usine de Tegel, où l'on filtre l'eau de ce lac qui est moins impure, on peut atteindre une vitesse de 3 mètres ; enfin, à Zurich, où les eaux du lac sont encore plus pures, on n'a pas craint d'aller jusqu'à 28 mètres.

La façon d'envisager le fonctionnement de ces grands filtres à sable n'a pas seulement un intérêt théorique, mais comporte aussi des conséquences pratiques importantes.

Ainsi, on se faisait dans les premiers temps l'idée suivante de ces filtres : On les considérait comme formés en quelque sorte de deux systèmes superposés : un filtre parfait, ne laissant guère passer aucun microbe, formé surtout par les couches supérieures,

et un milieu nutritif, formé surtout par les couches intérieures, où se fait une multiplication de microbes, comme elle se fait dans les tuyaux de conduite et de distribution. Cette manière de voir avait l'avantage incontestable de séparer, en en faisant deux phénomènes distincts, la filtration et la multiplication des microbes, de faire envisager par suite, ceux qu'on trouve dans l'eau filtrée, comme indépendants de ceux qu'on était exposé à rencontrer dans l'eau non filtrée ; c'est-à-dire, en somme, de tranquilliser les esprits sur l'emploi d'un appareil qui remplaçait par des espèces banales, les espèces microbiennes dangereuses de l'eau d'alimentation. Un autre argument en faveur de la même conception du filtre était que les espèces microbiennes de l'eau filtrée ne sont pas les mêmes que dans l'eau de filtration ; elles sont en général beaucoup moins nombreuses. Ce dernier argument prouve seulement que certaines espèces se plaisant mieux que les autres dans le milieu existant dans les parties inférieures du filtre, ce sont celles-là seulement qui persistent.

Malheureusement, il est parfaitement établi aujourd'hui, non seulement qu'on retrouve dans l'eau filtrée des espèces microbiennes existant dans l'eau qui alimente le filtre, mais aussi que ces microbes ont bel et bien traversé le filtre. Citons tout d'abord une expérience péremptoire de C. Fraenkel : Il a fait passer sur un filtre mûr, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de fonctionnement, de l'eau dans laquelle il avait mis un bacille facile à reconnaître, le bacillus violaceus ; et il a retrouvé ce bacille dans

l'eau filtrée. L'expérience est d'autant plus probante que, pour éviter l'objection possible d'une invasion du filtre de proche en proche par le bacille, se multipliant au moyen des matières organiques apportées dans l'eau par le bouillon de culture qu'on y avait dilué, C. Fraenkel avait pris la précaution de faire cette culture dans un bouillon très étendu, dont le mélange avec l'eau n'augmentait la matière nutritive de celle-ci qu'en proportions infinitésimales.

L'expérience journalière des grands filtres industriels montre aussi que l'eau qui sort de ces filtres n'est jamais privée de microbes. On disait dans les premiers temps que de l'eau chargée de 10.000 bactéries n'en contenait plus après filtration que 40 à 100 (Plagge et Proskauer, 1888). Mais plus tard, en 1890, au Congrès des hygiénistes allemands à Brunswick, C. Fraenkel et C. Piefke disent que l'eau sortant des filtres renferme *toujours* des germes de *même nature* que ceux qui y existaient avant la filtration et le chiffre de ces germes est une fraction à peu près constante (1 : 1000 environ) du nombre des microbes de l'eau brute. Vaillard, à Paris, est arrivé à des conclusions analogues à l'égard de l'eau de Seine, après qu'on l'eût fait passer par des bassins de sable. H. Laser a reconnu, à la suite d'expériences ayant duré un an, que l'eau de Kœnigsberg, filtrée en cinq bassins d'une surface totale de 7.825 mètres carrés, renferme toujours des germes et souvent en grande quantité, de 500 à 1.000 par centimètre cube et même 5 à 6.000 par les fortes averses ou le dégel; d'ailleurs. le chiffre des germes

de l'eau filtrée marche parallèlement à celui des bactéries de l'eau brute.

Au Congrès international d'hygiène de Londres, en août 1891, Robinson affirmait que certains organismes ne disparaissent pas par le filtrage à travers le sable.

Enfin, tout récemment, R. Koch a montré que les filtres à sable peuvent être infidèles, témoin le choléra d'Altona, due à l'eau de Hambourg. Aussi a-t-il formulé lcs prescriptions suivantes : 1° Ne pas dépasser la vitesse de filtration de 100 millimètres à l'heure ; 2° examiner, bactériologiquement, une fois par jour, le contenu de chaque bassin-filtre ; 3° exclure du réservoir d'eau pure l'eau filtrée qui renferme plus de 100 germes par centimètre cube. Il conseille aussi de renoncer définitivement aux filtres de Stralau, qui, d'ailleurs, étaient suspendus momentanément ; ce qui explique aisément cet abandon, c'est d'une part que ces filtres n'étaient pas couverts, et d'autre part qu'ils étaient chargés de filtrer une eau très impure, l'eau de la Sprée, tandis que les filtres de la station du lac Tegel reçoivent de l'eau moins impure. Enfin, il déclare, ce qui est maintenant une opinion absolument générale, mais pas toujours commode à mettre en pratique, qu'il vaut mieux employer, pour l'alimentation publique, l'eau de la nappe profonde. C'est, nous l'avons vu, la conclusion de tous les hygiénistes ; on trouvera d'ailleurs dans un tout récent travail du docteur O. du Mesnil, intitulé : *Projet de forage d'un nouveau puits artésien à Saint-Denis*, des exemples

frappants de l'influence de l'origine de l'eau sur la contamination par la fièvre typhoïde; à Saint-Denis, sont seuls atteints les habitants qui boivent de l'eau de Seine, tandis que ceux qui ont à leur disposition de l'eau d'un puits artésien construit dejà depuis un certain temps, c'est-à-dire qui boivent de l'eau de la nappe profonde, en sont indemnes. Aussi la municipalité a-t-elle l'intention de faire creuser un second puits analogue. Aujourd'hui qu'on sait construire des puits artésiens tubulaires, absolument à l'abri de toute contamination, c'est un procédé certain, peu coûteux et élégant, de se procurer de l'eau pure de tout germe, mais à une condition, c'est qu'on puisse rencontrer une couche d'eau ayant une composition chimique convenable, ce qui n'est pas possible partout. On sait que c'est le seul moyen d'assurer de l'eau potable dans certains pays, par exemple dans les régions méridionales de l'Algérie, où ces puits constituent un élement indispensable de la colonisation.

Nous avons encore un point intéressant à examiner. Pourquoi, puisque l'on trouve des microbes répandus dans toute l'épaisseur des filtres, ceux-ci ne s'y développent-ils pas *également* dans toute la hauteur du filtre? Ce n'est pas la matière organique qui leur manque, ni même l'oxygène; les chiffres cités plus haut prouvent qu'à la sortie du filtre l'eau en contient encore suffisamment; d'ailleurs, tous les microbes n'ont pas besoin d'oxygène. Mais, précisément, les microbes sont plus abondants là où matière organique et oxygène sont aussi en plus

grande proportion, c'est-à-dire dans les couches superficielles. D'autre part, ces innombrables microbes de la surface rejettent des produits élaborés par eux, des déchets vitaux qui sont défavorables au développement de leurs congénères ; c'est donc moins l'absence de matières nutritives que la présence de produits nuisibles, qui rend précaire l'existence des microbes situés de plus en plus bas dans le filtre. On s'explique ainsi que le nombre aille en diminuant de haut en bas ; on s'explique aussi que les espèces inférieures soient souvent différentes de celles de la surface, car, en général, un milieu ayant servi au développement d'une espèce microbienne n'est pas favorable à la vie des microbes de la même espèce.

Les conclusions suivantes nous semblent s'imposer concernant les filtres à sable établis par un grand nombre de municipalités. Ce sont des appareils de filtrage délicats à diriger, se dérangeant fréquemment. Nous avons vu, en effet, qu'il faut toujours conserver une vitesse uniforme, éviter avec le plus grand soin la rupture de la membrane filtrante de la surface qui est le réceptacle de tous les microbes qu'on cherche à éliminer et qu'une rupture de cette membrane entraînerait dans les réservoirs d'eau filtrée.

Mais il y a plus. Il est établi aujourd'hui, d'une façon absolument certaine, que, même dans les meilleures conditions de fonctionnement, même lorsque l'eau à filtrer est déjà presque pure, comme à Zurich, il y a toujours des microbes dans l'eau filtrée ; et

R. Koch ne demande que 100 germes par centimètre cube pour la considérer comme suffisamment purifiée. Un nombre modéré de microbes dans de l'eau, ce n'est pas ce qui nous la ferait rejeter de l'alimentation, car, il faut bien le dire, c'est pure théorie que de demander de l'eau ne contenant pas un seul microbe. En supposant qu'on puisse réaliser un appareil de filtrage donnant, *industriellement*, c'est-à-dire en grandes masses et à toute époque, une eau absolument indemne, est-ce que dans les réservoirs où il faut bien accumuler cette eau, on ne trouvera pas de microbes? et dans les conduites de distribution, est-ce que ceux-ci n'augmenteront pas de nombre, etc., etc.? Pratiquement, il est impossible d'avoir en grand de l'eau privée de tout microbe.

Ce qui importe, c'est de ne pas avoir affaire à des microbes *pathogènes*. Mais la difficulté consiste dans ce fait que nous ne savons pas, à l'heure actuelle, déceler sûrement les microbes pathogènes contenus dans l'eau. Je n'en citerai pour preuves que les innombrables mémoires publiés depuis plusieurs années et paraissant encore tous les jours au sujet du Bacille-virgule du choléra, du Bacterium coli commune et du Bacille d'Eberth. C'est précisément pour cela, dira-t-on, qu'on cherche à obtenir une eau ne contenant pas un seul microbe, assuré que l'on est alors d'avoir éliminé les microbes dangereux. Mais si, pratiquement, je veux dire en grand, ce résultat est presque impossible à résoudre, au moins jusqu'à présent, car il ne faut décourager

aucune recherche, doit-on renoncer à éliminer de notre alimentation ces microbes pathogènes? Je ne le pense pas.

Il est à peu près établi aujourd'hui que ces microbes dangereux nous sont apportés par les eaux de fleuves, de rivières ou de lacs, tandis que les eaux de la plupart des sources en sont indemnes. Pour ne pas revenir sur la question de l'eau de source qui est une affaire jugée, je crois qu'on peut utiliser aussi les eaux de rivières. Mais, puisqu'elles *peuvent* contenir des microbes pathogènes et que les filtres à sables actuels ne sont pas capables d'arrêter *tous* les microbes, il serait prudent de détruire d'abord tous ces microbes, et nous verrons qu'on a cherché à résoudre ce problème industriellement, quitte à se servir ensuite des filtres à sable pour assurer la limpidité de l'eau. Ce qui fait le danger des filtres actuels, ce n'est pas que l'on trouve dans l'eau filtrée des microbes, mais c'est qu'ils se laissent traverser par les bactéries contenues dans l'eau à filtrer et par suite par des bactéries pathogènes si celle-ci en contient. Les filtres à sable ne seraient plus chargés de stériliser l'eau, mais simplement de la rendre limpide, et il y aurait lieu alors de constituer la membrane filtrante de la surface avec autre chose qu'un amas de microbes ; c'est précisément ce que s'efforce de faire la Compagnie générale des Eaux de Paris dans l'usine qu'elle a installée récemment à Boulogne-sur-Seine.

Citernes-filtres du chemin de fer de l'Ouest algé-

rien. — Je crois devoir donner, comme exemple de filtre à sable et avant de parler du puits Lefort, la description sommaire des citernes-filtres employées par la Compagnie de l'Ouest algérien :

Pour établir ces citernes, on cherche autant que possible à utiliser une dépression du sol, qui permette de recevoir et d'emmagasiner les eaux pluviales.

On creuse dans le sol un trou carré, ayant des talus de un demi-mètre de base pour un de hauteur. On fait un revêtement en maçonnerie de béton avec mortier de ciment; pour plus de sûreté, on recouvre cette maçonnerie d'un enduit de ciment. Un puisard, placé en contre-bas, a pour but de permettre le nettoyage de la citerne quand elle est vide; c'est dans ce puisard que s'accumulent les matières étrangères entraînées par les eaux. Autour de ce puisard on monte une maçonnerie en pierres sèches de 50 centimètres de hauteur; sur ce premier anneau on établit une maçonnerie faite avec du mortier de chaux hydraulique, elle est surmontée d'un couronnement en pierres de taille; dans ce couronnement on pratique une feuillure destinée à recevoir le couvercle.

Dans le fond de la citerne on place des moellons en ménageant le plus de vides possible. Au dessus de ces moellons on met des pierres plus petites et ensuite du gravier grossier; on superpose ainsi des couches de gravier de plus en plus fin de manière que la superficie ait presque la compacité du sable, et on recouvre le tout d'une couche assez

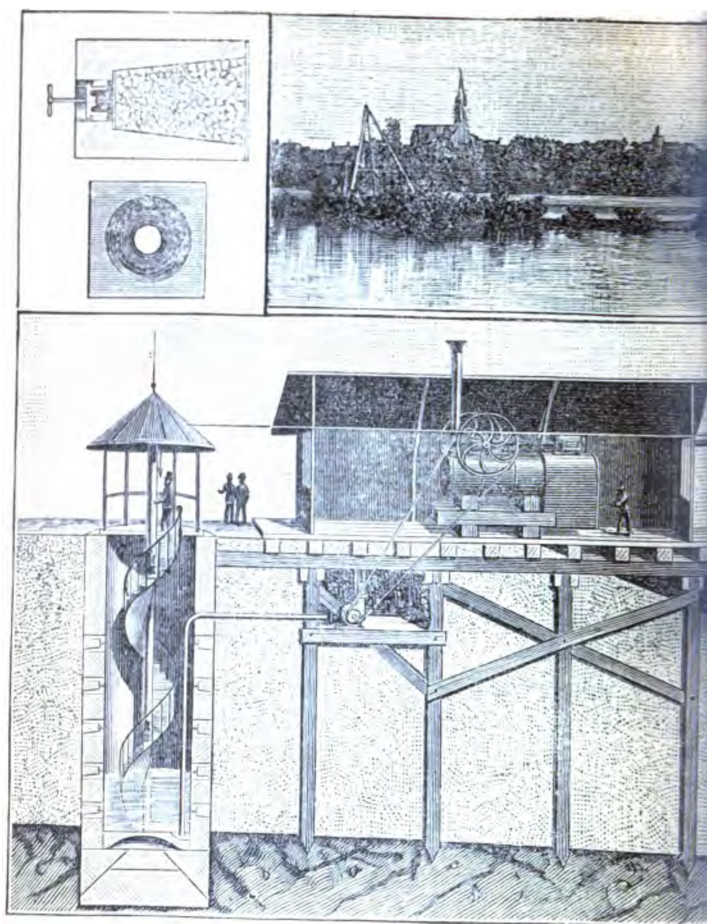
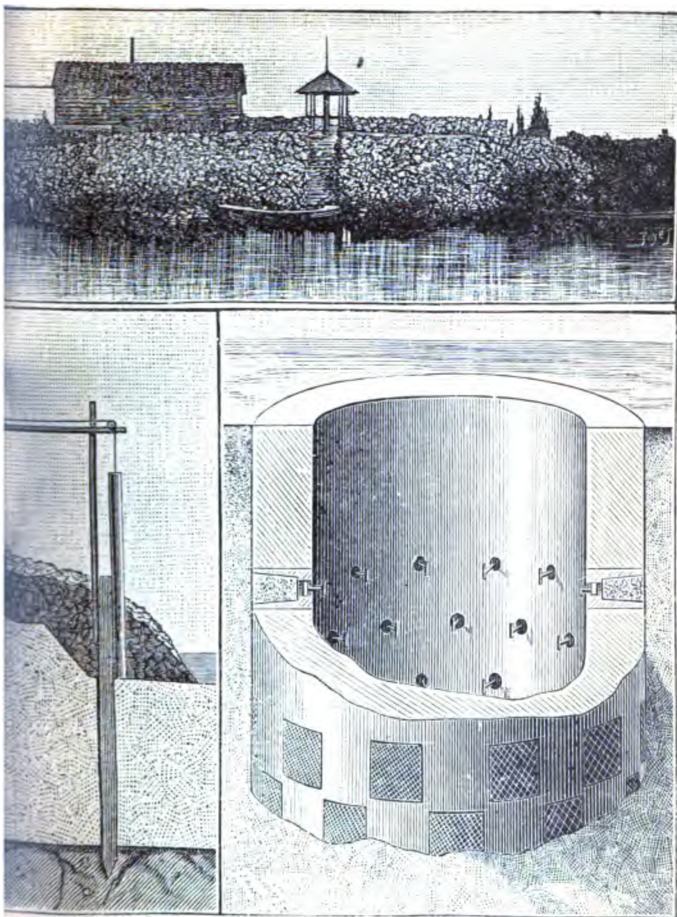


Fig. 2. — Puits



ıtrant Lefort.

épaisse en terre sablonneuse sur laquelle on fait des semis.

Les eaux qui arrivent dans les citernes passent successivement à travers les épaisseurs filtrantes et pénètrent dans le puisard par la maçonnerie en pierres sèches. Ces eaux sont douces, limpides et fraîches; il est utile de faire quelques plantations d'arbres autour de la citerne.

IV. — Puits Lefort, a Nantes.

Nous venons de voir dans les deux paragraphes précédents que la purification des eaux de rivières à l'aide des galeries latérales ou à l'aide de bassins filtrants à sable présentaient un certain nombre d'inconvénients et, ce qui est la grande préoccupation actuelle, laissaient passer dans l'eau filtrée un certain nombre de microbes contenus dans l'eau impure.

L'ingénieur Lefort a proposé un nouveau système de filtration de l'eau des rivières consistant en la construction de puits en sable et maconnerie au milieu même de la rivière; il a, à titre d'expérience, installé un puits filtrant de son invention dans la Loire, à Nantes, puits dont les résultats assez favorables ont fait un certain bruit il y a environ trois ans.

Voici quelles sont les idées qui ont guidé Lefort : Il faut éviter d'une façon absolue l'introduction dans l'intérieur du puits filtrant, de toute autre eau que l'eau du fleuve, et en particulier des eaux souterraines avoisinantes dont la contamination possible rend précisément dangereux le système des galeries latérales.

Il faut aussi empêcher la pénétration de la couche inférieure des eaux du fleuve, les eaux du fond étant toujours moins pures et moins chargées d'oxygène que celles des parties supérieures. La masse sablonneuse filtrante qui entre dans la composition du puits doit avoir une homogénéité absolue.

L'eau filtrée à travers cette couche ne pourra pénétrer dans l'intérieur du puits que par des ouvertures déterminées, faciles à visiter, et non par toute la surface filtrante.

La surface active de l'appareil épurateur devra être en contact parfait avec l'oxygène de l'air.

La pression devra être facile à régler et elle devra s'exercer latéralement, et non plus verticalement comme dans les filtres à sable, de façon à éviter l'encrassement, ou au moins à le rendre très faible. Enfin, ces puits devront être installés dans les parties des fleuves où l'eau est la moins impure, par exemple en amont des villes, et loin des usines, etc.

Voici d'ailleurs les dispositions principales imaginées par Lefort :

1° Disposer en plein fleuve, après draguage du lit jusqu'au sol ferme, une couronne artificielle de rochers d'environ 15 mètres de diamètre, destinée

à former une ceinture protectrice pour la base de son système filtrant ;

2° Au centre de cet atoll artificiel, élever une tour-puits, étanche d'une façon absolue, depuis sa base jusqu'à un niveau légèrement supérieur au point atteint par la plus haute crue constatée de l'eau du fleuve ; et, depuis un niveau inférieur d'un mètre environ à l'étiage minimum du cours d'eau jusqu'à deux mètres du sommet, munie d'ouvertures mobiles, dites barbacanes ; enfin, pourvue d'un escalier intérieur permettant la surveillance et la direction de ces barbacanes, de même que le nettoyage intérieur ;

3° Déposer entre la ceinture rocheuse lui servant d'appui extérieur et la tour-puits formant axe, une couche de sable de rivière fin, bien uniforme et lavé, donc homogène, en forme de tronc de cône ayant 15 mètres de diamètre à la base et 10 mètres au sommet, et enveloppé extérieurement d'un revêtis irrégulier en pierres non maçonnées, de façon à assurer la stabilité de la masse sablonneuse, sans nuire à sa porosité, pas plus qu'à son aération ;

4° Mettre le fond du puits, au moyen d'une conduite de canalisation faisant l'office de collecteur provisoire, en communication avec une pompe aspirante et foulante envoyant l'eau purifiée à une citerne remplissant la fonction de collecteur général pour la distribution d'eau de la ville ;

5° Couvrir le puits filtrant en y conservant un trou d'homme, à fermeture mobile, correspondant à l'escalier précité.

Le puits d'expérience, installé dans la Loire à Nantes (*Fig.* 2), présente les dispositions suivantes :

Au lieu de créer son système de toutes pièces, et pour des raisons d'économie, Lefort a songé à utiliser un des nombreux bancs de sable que le fleuve offre auprès de la ville. Il choisit le grand banc situé à environ deux kilomètres du centre de l'agglomération nantaise et quatre kilomètres au dessous des rouisseries établies sur la Loire, en amont de la ville et au dessus de l'île de Beaulieu, à 200 mètres de la rive droite du fleuve ; banc qui, d'après les sondages exécutés, lui sembla présenter une assise propre à son expérience et qui était, par sa situation, à l'abri de l'influence des marées pour le refoulement des eaux-vannes de la ville. Il y creusa et édifia sa tour-puits, remuant et tamisant la masse sablonneuse, formée à cet endroit de grains moyens d'épaisseur variable, limitée par une couche épaisse de vase compacte ou *jalle* qui s'étend à 2^m30 environ au dessous des plus basses eaux.

Le puits filtrant est établi sur un caisson en tôle supportant sa maçonnerie. Il est entouré d'un remblai de sable pur, recouvert par un perré de 0^m40 d'épaisseur et par un enrochement terminal granitique. Son diamètre intérieur est de deux mètres, sa maçonnerie en mortier de chaux hydraulique et ciment, avec un enduit de ciment à l'intérieur et à l'extérieur. L'eau filtrée pénètre dans le puits par 66 barbacanes que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté ; le premier rang de barbacanes se trouve à

environ 1^m53 au dessous des plus basses eaux dans les parages de l'ile de Beaulieu.

Chaque barbacane est formée d'un bloc en ciment de 0^m50 de longueur et de $0^m40 / 0^m40$ évidé à l'intérieur. Dans la moitié de l'épaisseur, l'évidement est en forme de tronc de cône ayant 0^m20 de diamètre intérieur et 0^m30 à l'extérieur ; cet évidement est rempli de petites pierres cassées qu'il a été nécessaire de retenir par un grillage métallique dont les mailles sont de 0^m004 environ. Dans la seconde moitié de l'épaisseur de la barbacane, l'évidement a une forme cylindrique de 0^m10 de diamètre et cette ouverture peut être fermée, soit au moyen de tampons en bois, soit par une disposition de robinets facilitant le puisage de l'eau aux diverses barbacanes ou leur fermeture.

La hauteur totale depuis la margelle jusqu'au fond du puits est de 7^m44 ; il se trouve enfoncé de 4^m70 au dessous de la grève ; un escalier tournant permet d'y descendre et d'ouvrir à volonté, l'un ou l'autre rang de barbacanes.

La période d'expériences a duré quatorze mois pendant lesquels ce puits filtrant a fonctionné dans les conditions d'étiage les plus variées, allant de la période maximum à la période minimum des eaux de la Loire. Les résultats obtenus peuvent se résumer ainsi :

Propriétés organoleptiques. — Eau incolore sous une faible épaisseur, bleue en masse. Limpidité et transparence complètes. Saveur agréable. Odeur nulle.

Propriétés physiques. -- Les chiffres extrêmes fournis pour cette eau, par le Service des Ponts et Chaussées, comparativement à celle de la Loire, ont été les suivants :

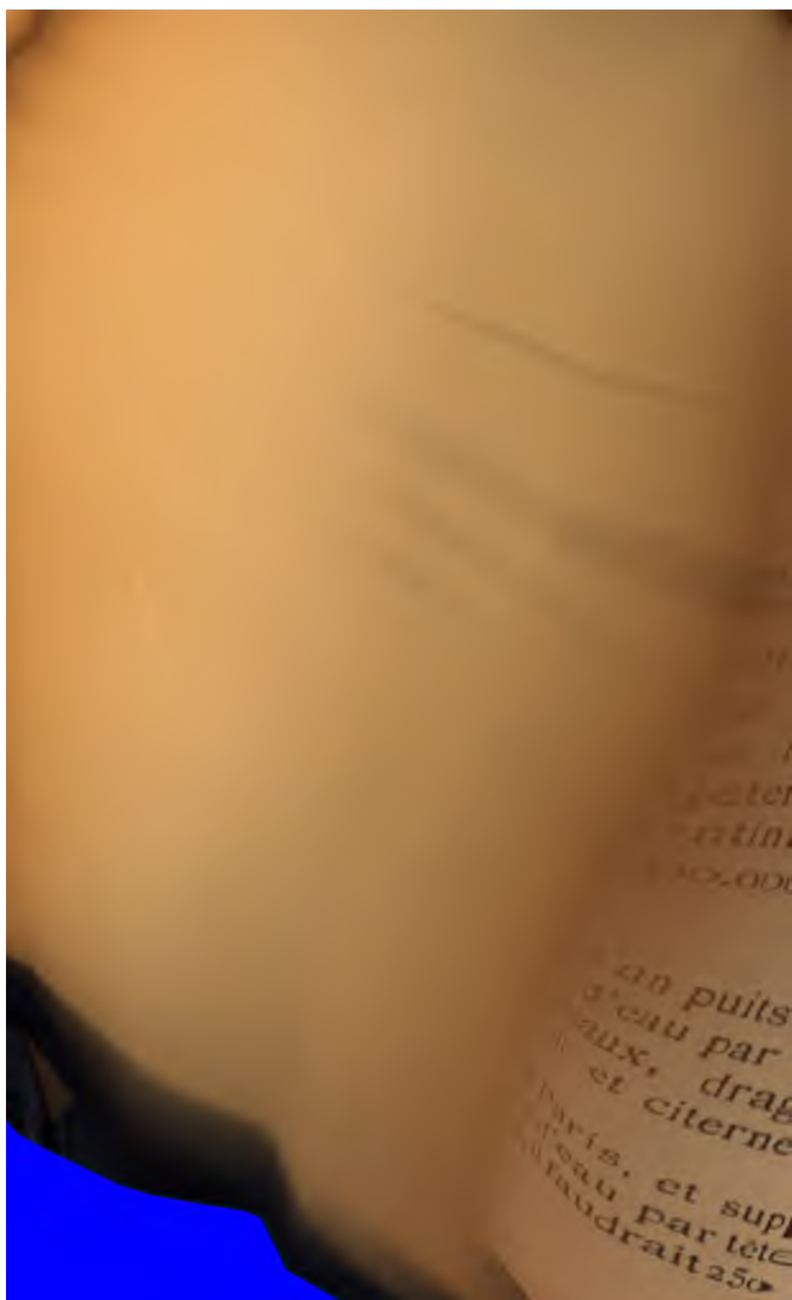
Dates.	Température de l'air.	Température de l'eau de la Loire.	Température de l'eau du puits Lefort.
9 décembre 1889. . .	1°	0°,30	8°
11 décembre 1889. . .	5°	3°	7°
12 septembre 1890. . .	24°	21°	17°
13 septembre 1890. .	24°	20°	17°

Il est bon de remarquer que l'eau filtrée dans le puits en était constamment rejetée dans la Loire par la pompe aspirante et foulante, c'est-à-dire que cette eau était constamment renouvelée ; d'autre part, le puits n'était pas couvert. Et cependant, l'écart maximum n'a été que de 10°, tandis que pour l'eau de Loire, il a été de 27°7. On peut donc penser que la température de l'eau filtrée resterait constante si les deux causes signalées plus haut n'agissaient plus, comme cela se passerait pour un fonctionnement normal.

Propriétés chimiques. — Quatre points sont plus particulièrement intéressants :

1° Y a-t-il identité absolue entre l'eau du puits et celle du fleuve ? on conçoit que ce soit là un point des plus importants, puisque c'est précisément cette non-identité qui constitue le plus gros grief contre les galeries latérales aux fleuves.

2° Les éléments en suspension dans l'eau de la Loire sont-ils complètement retenus ?



un puits
d'eau par
aux, drag
et citerne
Paris, et supp
l'eau par tête
faudrait 250

3° Les matières organiques en dissolution ontelles diminué par le fait du passage de l'eau à travers les parois filtrantes ?

4° L'aération de l'eau est-elle suffisante ?

Les chiffres suivants donnent les réponses favorables à ces différentes questions :

Analyses faites par l'Ecole des Ponts et Chaussées.

Éléments dosés.	Eau de la Loire au droit du puits.	Eau recueillie dans le puits Lefort.
I. Degré hydrotimétrique	10°,0	10°,5
II. Résidu de filtration, par litre. .	0 gr. 012	0 gr. 000
III. Résidu d'évaporation, — . .	0 152	0 140
IV. Dosage des matières organiques par le permanganate :		
1° Equivalent par litre en acide oxalique	0 gr. 02790	0 gr. 00880
2° Quantité d'oxygène consommé.	0 00346	0 00110

Par ces analyses, on voit que :

1° La composition des deux eaux est identique au point de vue minéral ;

2° La rétention des matériaux en suspension est complète ;

3° Le poids des matières organiques en dissolution a diminué.

Pour la quatrième question, voici le dosage des gaz contenus dans l'eau du puits, dû à Andouard :

	Eau du puits Lefort.	Moyenne de la teneur en gaz des eaux de pluie à Nantes.
Azote.	0 gr. 0172	0 gr. 019
Oxygène.	0 0068	0 0071
Acide carbonique . . .	0 0045	0 0024

Propriétés bactériologiques. — C'est Miquel qui s'est chargé de la numération des bactéries.

1° Période des eaux maxima de la Loire (hiver).

Eau de la Loire. .	9.530	bactéries par cent. cube.
Eau du puits Lefort	73	— —

2° Periode des eaux minima de la Loire (été).

Eau de la Loire . . .	24.000	bactéries.
Eau du puits Lefort. .	132	—

Vaillard a trouvé de son côté, au Val de Grâce, les résultats suivants :

	Hiver	Eté
Eau du puits . .	50 germes aérobies p. cc.	150 germes p. cc.
Eau de la Loire.	Un nombre très considérable.	

Débit. — La pompe d'épuisement chargée normalement de refouler l'eau filtrée dans un réservoir d'alimentation, ne faisait dans l'expérience dont nous citons les résultats que rejeter cette eau dans la Loire; pendant une durée continue de 65 jours il a été extrait du puits environ 100.000 mètres cubes d'eau.

Dépenses. — Lefort estime qu'un puits susceptible de donner 2.500 mètres cubes d'eau par 24 heures, reviendra (dragages fondamentaux, dragages des chenaux latéraux à l'îlot filtrant et citerne y compris), à 62.500 francs.

En appliquant ces données à Paris, et supposant une consommation de 500 litres d'eau par tête d'habitant pour 3.000.000 d'habitants, il faudrait 250 puits,

ce qui constituerait une dépense de 15.625.000 francs pour les puits proprement dits, somme à laquelle viendrait s'ajouter le prix d'un canal latéral de 5 kilomètres (destiné à faciliter la navigation de la haute Seine, parallèlement à l'ilot constituant la batterie filtrante Lefort), et que l'on peut estimer (le canal ayant 40 mètres de large et l'achat du terrain étant compris) à 1.000.000 par kilomètre, soit au total 5.000.000 de francs. Ce qui, comme chiffre de revient définitif, mettrait l'ensemble de la batterie Lefort à 20.625.000 francs.

Je n'ai cité ces chiffres qu'à titre d'exemple et de façon à donner une idée complète de la conception de l'ingénieur Lefort.

Il est évident que pendant la durée des expériences ce puits filtrant a donné des résultats très satisfaisants, mais que deviendra-t-il par un long usage? N'aura-t-il pas tendance à s'obstruer, et comment s'effectueront les nettoyages?

La verticalité des parois filtrantes diminuera l'encrassement, mais ne l'empêchera pas complètement; il n'y a que les parties les plus lourdes qui tomberont au pied du filtre, les autres viendront peu à peu se loger dans les interstices de la couche filtrante sablonneuse. On sait, en effet, que ce n'est pas la verticalité de la bougie Chamberland qui l'empêche de s'obstruer au bout d'un certain temps. Enfin, ce filtre laisse aussi passer des microbes, pas beaucoup il est vrai, mais si ce sont les mêmes que ceux contenus dans l'eau du fleuve, et cela est pro-

bable, le résultat ne sera pas celui demandé par les hygiénistes.

V. — Procédés industriels.

Nous allons passer en revue maintenant quelques-uns des appareils industriels proposés dans ces dernières années pour la purification et la filtration en grand des eaux.

Ces appareils ont été créés dans le but d'utiliser les eaux de rivières, car nous avons dit à plusieurs reprises que souvent les plus grandes agglomérations humaines, presque toujours rassemblées le long des cours d'eau, n'ont pas à leur disposition d'autre eau à pouvoir consommer, soit parce qu'il n'existe pas de sources qu'on puisse dériver, soit à cause des dépenses énormes que cette distribution entraînerait.

Système Anderson.

L'appareil qui semble le mieux remplir le but de purifier les eaux de rivières presque toujours polluées, c'est-à-dire de détruire d'une part une grande partie des matières organiques dissoutes et des microbes, et d'autre part, de rendre l'eau limpide et incolore, est l'appareil Anderson (*Fig.* 3) qui s'est d'ailleurs répandu dans un grand nombre de villes depuis une dizaine d'années.

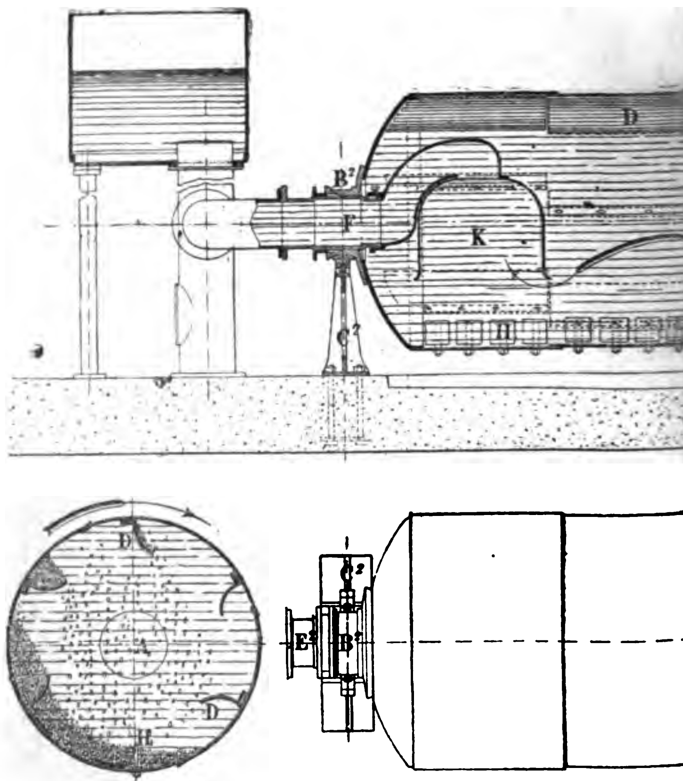
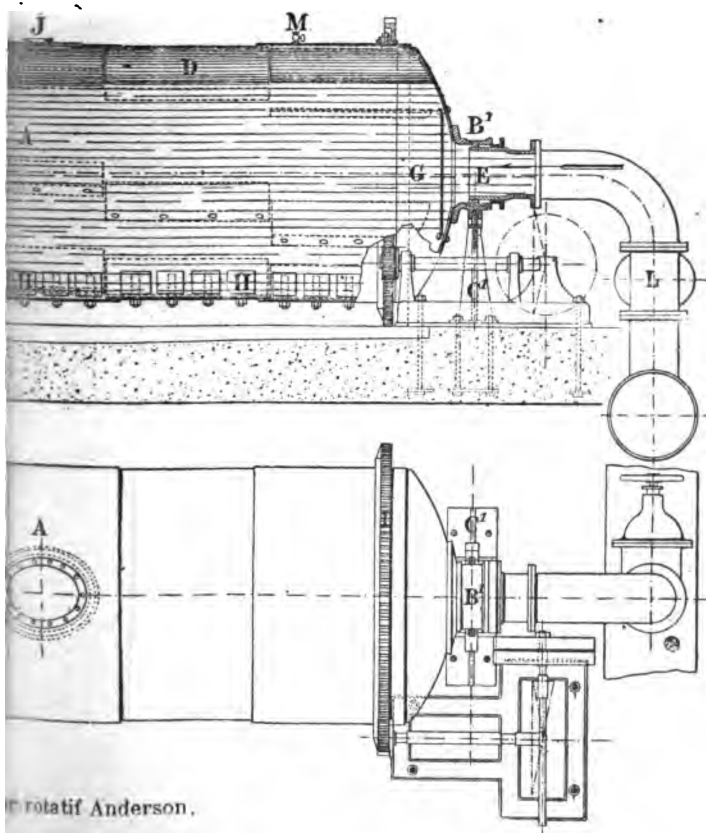


Fig. 3. — Purific



...r rotatif Anderson.

Le principe sur lequel repose cet appareil, consiste à agiter les eaux impures avec du fer à un grand état de division ; il se produit alors des réactions encore assez obscures sur lesquelles nous reviendrons ; d'où il résulte une destruction de la matière organique et la formation de peroxyde de fer, ce qui nécessite la filtration ultérieure de l'eau ainsi purifiée.

Il y avait déjà bien longtemps qu'on avait fait la remarque que le fer purifiait l'eau, c'est-à-dire lui enlevait toute odeur et la clarifiait ; nous verrons en nous occupant des filtres domestiques, qu'un certain nombre de ceux-ci utilisent précisément le fer ; nous verrons aussi que dans ces dernières années un grand nombre d'auteurs ont préconisé l'emploi de différentes préparations ferrugineuses pour purifier l'eau. L'oxyde de fer qui prend naissance semble agir à la fois chimiquement comme corps oxydant et physiquement en entraînant les matières en suspension.

Bishof avait proposé l'emploi du fer spongieux, le fait est que dans tous les essais de laboratoire cette substance avait donné d'excellents résultats. Aussi la ville d'Anvers n'avait-elle pas hésité à installer en 1881 des filtres au fer spongieux pour la purification des eaux de la Nèthe. Ces eaux sont prises à Waelhem, à 18 kilomètres d'Anvers, elles sont loin d'être pures, contaminées par leur passage à travers des tourbières ; de plus, la marée montante renverse le sens naturel du courant, et fait refluer les eaux de la Senne chargée de toutes les impuretés

de Bruxelles. Toutes les rivières dont le jeu des marées amène les eaux au droit de la prise n'ont qu'une faible vitesse moyenne et traversent des villes importantes, on voit donc que les causes de contamination ne manquent pas. L'eau à purifier est jaunâtre, d'uue odeur nauséabonde, chargée de toutes sortes d'impuretés à l'état floconneux ; sous une épaisseur de 60 centimètres, elle intercepte à peu près complètement la lumière.

Des essais de décantation et de filtrage au sable n'ayant pas donné de résultat satisfaisant, c'est alors qu'on essaya le filtrage à l'éponge de fer. On appelle ainsi un produit résultant de la réduction imparfaite de l'hématite offrant l'état spongieux et formé d'un mélange variable de fer et d'oxydes de fer, contenant en moyenne 80 pour 100 de fer, et 20 pour 100 d'oxygène.

Ce produit était mêlé avec trois fois son volume de sable, et l'ensemble étalé en couches de 0m90 d'épaisseur remplaçait la couche filtrante supérieure des filtres à sable employés primitivement.

L'opération donna au début des résultats satisfaisants, mais à mesure que la consommation augmentait, le débit devenait insuffisant, les filtres s'engorgeaient sur presque toute la profondeur de la couche supérieure, et le nettoyage revenait à des prix pratiquement inadmissibles. La surface de chaque grain de fer une fois oxydée préservait le noyau de toute action chimique ultérieure.

Les filtres au fer spongieux, mis en marche en 1881, étaient hors d'usage en 1884. Il fallut enlever

2.000 tonnes d'un mélange de fer et de gravier, le fer spongieux ainsi mis au rebut ayant coûté 200.000 francs.

C'est à la suite de cet insuccès que fut imaginé le procédé Anderson qui fonctionne actuellement. Fr. Abel, étudiant les causes de l'insuccès de l'éponge de fer, commença par poser en principe qu'il fallait maintenir l'emploi du fer, dont la très grande efficacité comme substance purifiante était hors de doute ; pour en rendre l'emploi pratique quand il s'agit de grandes quantités d'eau, il fallait empêcher le fer de se prendre en masses compactes ; ce résultat pourrait être atteint par une agitation continuelle du métal, il fallait, en outre, enlever au fur et à mesure qu'ils se produisent, l'oxyde de fer et les précipités formés dans l'eau. On a séparé l'opération en deux phases : dans un appareil spécial on purifie d'abord l'eau par la réaction du fer sur celle-ci, et ensuite on filtre cette eau, qui ne tient plus que des matières non nuisibles en suspension, dans des filtres à sable disposés d'une manière particulière.

Description du purificateur rotatif. — Voici la description du purificateur, d'après la brochure descriptive publiée par la compagnie qui exploite le brevet Anderson (*Fig.* 3).

Cet appareil se compose d'un cylindre A, supporté par deux tourillons creux, B^1 B^2, tournant sur des socles C^1 et C^2 placés à chacune de ses extrémités. L'intérieur du cylindre est garni d'une série de cinq tablettes courbes D, placées en gradins à égale

ance sur la circonférence et allant d'une extré-ıité à l'autre. Une sixième rangée, au lieu d'être formée de tablettes incurvées, se compose de petites palettes carrées droites H, supportées par une tige fixée au cylindre par un écrou extérieur et permettant d'obliquer ces palettes par rapport à l'axe du cylindre. Ces palettes ont pour but de diriger le fer dans sa chute et de le faire rétrograder vers l'entrée de l'appareil, d'où le courant tend à l'entraîner. Par les tourillons creux, munis de presse-étoupe, passent les bouts du tuyau d'entrée E et du tuyau de sortie F pour la circulation de l'eau à purifier. Devant le tuyau d'entrée E se trouve une plaque circulaire G fixée à une distance de $0^{m}15$ à $0^{m}20$ du fond du cylindre, elle sert à distribuer également dans tous les sens l'eau qui entre dans l'appareil, et à empêcher qu'elle ne coule directement d'une extrémité à l'autre. Le tuyau de sortie est muni d'une cloche renversée K dont le but est de retenir les fines parcelles de fer que le courant pourrait entraîner. Le cylindre est mis en rotation par une roue dentée I fixée à une de ses extrémités et à laquelle le mouvement est donné par une transmission. La vitesse de rotation à la circonférence de l'appareil doit être d'environ 2 mètres par minute. Un trou J permet l'introduction du fer à un état de division suffisante, on répartit celui-ci bien également sur le fond, de façon à occuper environ un dixième du volume total du cylindre.

Pour mettre le purificateur en marche, on introduit d'abord le fer comme il vient d'être dit, on le

remplit ensuite d'eau en ayant soin d'ouvrir le purgeur d'air M ; l'air expulsé, le purgeur est fermé et le mouvement est donné à l'appareil. Pendant la rotation le fer se loge sur les tablettes d'où il retombe à travers la masse liquide. Un robinet-vanne L permet de régler la vitesse du courant, et partant, la durée du contact avec le fer. Cette durée varie avec la nature de l'eau à purifier.

On a d'abord employé dans le cylindre rotatif le fer spongieux du professeur Bishof, puis des tournures de fonte, le fer spongieux étant moins convenable à cause de l'irrégularité de ses surfaces et de son coût beaucoup plus élevé ; mais les tournures de fonte ont le désavantage d'être très friables et de se briser facilement, de sorte que, outre l'usure normale du métal due aux réactions chimiques, une certaine quantité de fer est enlevée à l'état pulvérulent.

Les formes de fer les plus convenables et les plus économiques à employer dans les revolvers sont le fer granulé, les ballettes de fonte et les petits nodules provenant des machines à percer. L'expérience a démontré que sous ces trois formes, la perte de poids est la même par mètre cube de la même eau ; cette perte s'élève à 3 kilogrammes par 1.000 mètres cubes avec l'eau de la Nèthe, tandis qu'elle s'élève à 9 kilogrammes lorsqu'on emploie des tournures de fonte ; à Dordrecht, avec une eau de rivière d'ordinaire assez pure, les pépins de perçage ne perdent pas tout à fait 1 kg. 1/2. D'une façon générale, tout le fer doit passer par un tamis à mailles

de 9 millim. 5 pour les cylindres de faible diamètre et par des mailles de 12 millim. 5 pour les grands diamètres.

Les purificateurs rotatifs Anderson se construisent en 14 calibres qui se désignent d'après le diamètre en pouces anglais des tuyaux d'entrée et de sortie. Lorsqu'il s'agit de faire choix d'un revolver capable de donner une quantité déterminée d'eau par jour, il est nécessaire de se baser sur la durée du contact de l'eau avec le fer ; cette détermination doit se faire par des expériences préalables. On peut estimer que pour rendre potable une eau ordinaire de rivière, la durée de ce contact ne doit pas être au dessous de 3 minutes 1/2 et nécessitera rarement plus de 5 minutes ; par un contact trop prolongé, le fer se dissout en excès dans l'eau et ne peut en être facilement précipité et ne produit aucune amélioration ; avec moins de 3 minutes 1/2 de contact, il est difficile d'assurer une purification régulière et suffisante.

Pour déterminer le débit d'un purificateur par 24 heures, lorsque la durée du contact change, il suffit de diviser le nombre de litres d'eau contenus dans le revolver par le nombre de minutes assigné pour le contact et de multiplier le résultat par 1.440 (nombre de minutes contenu dans 24 heures). Et inversement, pour déterminer le calibre d'un purificateur destiné à débiter un nombre donné de litres par jour, étant connu le nombre de minutes de contact, il suffit de diviser le débit journalier par 1.440 et de multiplier par le nombre de minutes de contact.

Un purificateur de 14 pouces peut traiter près de

6.000 mètres cubes par jour avec un contact de 3 minutes 1/2, tout en n'occupant qu'un espace de 31 mètres carrés.

On a reconnu, à Anvers, qu'il est inutile de renouveler toute la charge du fer ; il suffit de maintenir le poids initial de la charge en ajoutant périodiquement la quantité suffisante pour compenser la perte due à l'action chimique et à l'entraînement des particules de fer par l'eau. Le temps après lequel la charge doit être complétée varie suivant la quantité d'eau qui a passé et le degré d'usure. Généralement, il est de bonne mesure de reconstituer la charge une fois par semaine.

Aération. — A la sortie du purificateur, l'eau est chargée d'une certaine quantité de sel ferreux, que l'action de l'air transforme graduellement en sel ferrique insoluble ; elle est trouble et possède une odeur peu agréable, on la fait couler dans un canal à ciel ouvert. Dans certains cas, cet aérage naturel ne suffit pas ; on injecte alors de l'air dans la masse liquide au moyen d'une soufflerie ou on la fait couler en cascade sur des gradins.

Ainsi, à Anvers, on a adopté la disposition suivante. Un tuyau en fer de 75 millimètres règne sur toute la longueur du bac de sortie, commun à tous les purificateurs ; une branche de 35 millimètres, munie d'un robinet, descend de ce tuyau au-dessus de chaque tuyau de sortie dans lequel il pénètre à une profondeur d'environ 45 centimètres, sous le niveau moyen de l'eau dans le canal. L'extrémité

inférieure de chaque branche se termine par un plateau circulaire de 12 centimètres de diamètre, laissant un espace circulaire libre de 60 millimètres par lequel l'eau et l'air débouchent ensemble dans le bac. Une seconde aération mécanique est fournie par un tuyau de 15 centimètres qui conduit l'air provenant du ventilateur sous une série de feuilles de zinc finement perforées et disposées comme un double fond dans la première partie du canal qui conduit l'eau purifiée aux filtres à sable. Une grande quantité de bulles d'air passe à travers ce double fond et se mélange à l'eau. L'eau coule ensuite par un canal ouvert aux bassins de décantation, d'où un tube à flotteur enlève les couches superficielles du liquide et les déverse sur les filtres à sable.

On pourrait aussi utiliser d'autres procédés d'aération, tels que ceux d'Œsten ou de Piefke. Le procédé d'Œsten consiste à faire tomber l'eau en douche, de 1 mètre à 2 mètres de hauteur. Au lieu de la douche en pluie d'Œsten, Piefke fait tomber l'eau en nappe sur un tas de coke, en morceaux de la grosseur du poing ; ce procédé d'aération s'est montré supérieur au précédent, au point de vue de l'élimination du fer, et a été essayé à Kiel sur l'eau du Schulensée, qui est naturellement ferrugineuse ; mais il s'accompagne d'une augmentation des bactéries ; il est vrai qu'il ne s'agit plus de bactéries pathogènes.

Filtration. — Sous l'influence de l'oxygène de l'air, la plus grande partie des sels ferreux est trans-

formée en sels ferriques insolubles et en sesquioxyde de fer gélatineux qui, en se déposant, tend à entraîner les matières en suspension. On fait donc passer l'eau d'abord dans des bacs de décantation. A Boulogne-sur-Seine, ils forment une série de couloirs, où des chicanes convenablement disposées facilitent le dépôt des matières en suspension. L'installation de ces bacs de décantation est très importante à deux points de vue ; elle permet aux réactions chimiques qui se passent entre l'oxygène de l'air, les sels ferreux et ferriques et la matière organique de se parfaire ; la preuve en est que l'eau a une teinte manifestement verdâtre dans les premiers bassins de décantation, puis une teinte légèrement jaunâtre dans les derniers. Enfin, si l'eau a eu un assez long parcours à faire avant d'arriver aux filtres, elle a pu se dépouiller de la plus grande partie de ses matières en suspension, et les filtres ont une durée plus longue (*Fig.* 4 et 5).

Quant aux filtres, ce sont simplement des filtres à sable. A Boulogne, ces filtres sont au nombre de trois de même surface ($71^{m}2$), deux sont en service et le troisième en attente et en nettoyage. Chaque filtre formé par un bassin rectangulaire se compose, à la partie inférieure, d'un drainage en briques sur plat (deux assises) recouvertes d'une couche de gravier de 20 centimètres d'épaisseur, sur laquelle repose un lit de sable de 45 centimètres d'épaisseur. Une nappe d'eau de 1 mètre d'épaisseur recouvre constamment cette couche de sable. A la partie inférieure des filtres, un collecteur reçoit l'eau filtrée et

la conduit dans un réservoir, d'où elle est aspirée par la pompe de l'usine et refoulée dans la canalisation. Une série de vannes convenablement disposées permettent d'isoler tel filtre dont l'état exige l'arrêt, pour un nettoyage ou pour une cause quelconque.

L'opération du nettoyage est très simple ; elle consiste à faire baisser le niveau du filtre à nettoyer à 20 centimètres au dessous du niveau supérieur du sable et à enlever à la pelle la croûte supérieure (25 millimètres environ d'épaisseur) formée, partie de sable, partie de dépôts. Cette opération terminée et la surface du sable bien égalisée, le filtre est de nouveau rempli en introduisant, par la partie inférieure, l'eau filtrée du filtre voisin.

Réactions. — Dans les revolvers, sous l'influence de l'agitation continuelle de l'eau avec le fer qui détermine leur contact intime en présence de l'oxygène et de l'acide carbonique de l'air, il se dissout, ainsi que nous l'avons dit, une certaine quantité de fer à l'état de sels ferreux, dont probablement du carbonate. On a même essayé l'injection directe de l'air et celle de l'acide carbonique dans les cylindres rotatifs. A la sortie du revolver, l'eau est trouble, ce qui ne permet guère de constater sa couleur, mais si on la laisse déposer un instant, on voit très bien qu'elle est verte ; d'ailleurs, la présence des sels ferreux peut y être décelée facilement. C'est à partir de ce moment que se passent les véritables réactions de purification. Sous l'influence de l'oxygène de

Fig. 4. — Epuration de l'eau par le systè

Coupe AB.

Fig. 5. — Epuration de l'eau par le systè

lan.

Filtres

Anderson à l'usine de Boulogne-sur-Seine.

Coupe CD.

Anderson à l'usine de Boulogne-sur-Seine.

l'air obtenue soit par injection directe d'air dans l'eau sortant des cylindres, soit par la disposition en cascades donnée aux bassins d'aération, et enfin pendant le chemin que parcourt cette eau dans les canaux de décantation installés précisément de façon à assurer un large contact avec l'air, les sels ferreux se transforment en sels ferriques ; le carbonate ferreux laisse déposer peu à peu du sesquioxyde de fer, et il se fait en même temps des composés assez complexes et très mal connus de fer et des nombreuses matières de composition pour ainsi dire complètement ignorée, dont le mélange très variable est désigné en bloc sous le nom de matière organique. Ces composés, probablement d'abord à l'état de sels ferreux, s'oxydent aussi à leur tour en se transformant en de nouvelles combinaisons ferriques, mais cette transformation se fait avec destruction d'une partie de la matière organique sous forme d'acide carbonique et d'eau ; nous verrons, en effet, que le dosage *in globo* de la matière organique dans l'eau impure et dans l'eau filtrée indique une diminution notable dans cette dernière. Enfin, une partie de ces composés de matière organique et de fer est insoluble dans l'eau, composés qu'on peut assimiler à ceux qui ont été étudiés, superficiellement il est vrai, sous les noms d'ulmate, de crénate, d'apocrénate de fer, etc.

D'autre part, l'ammoniaque libre, l'acide nitreux et une grande partie de l'acide nitrique sont brûlés à leur tour sous l'influence de ces réactions complexes.

En résumé, la plus grande partie des matières organiques (et par conséquent la matière organique à l'état vivant, comme les microbes) est éliminée de l'eau, soit par une combustion complète, soit par leur transformation en composés insolubles ; d'autre part l'oxyde ferrique qui se forme est à l'état gélatineux, colloïdal, tel que l'a étudié Graham.

C'est lui qui va jouer maintenant le principal rôle pour la clarification de l'eau. En effet, il se dépose peu à peu en englobant, en entraînant toutes les matières en suspension ; il se produit un effet analogue au collage des vins.

C'est ensuite ce mélange de matières insolubles entraînées et de sesquioxyde de fer colloïdal qui forme la membrane filtrante des filtres à sable. Nous avons longuement étudié, à propos de ces derniers filtres, leur mode de fonctionnement et fait voir qu'on les considère aujourd'hui comme formés de deux parties, le sable formant le support du véritable filtre, celui-ci étant constitué par la membrane qui se forme peu à peu à la surface. Mais il y a une différence très importante sur laquelle il est bon d'attirer l'attention ; tandis que dans les filtres sur lesquels on déverse directement l'eau impure des rivières, comme à Berlin, la couche filtrante est formée par un amas feutré de matières insolubles et surtout de microbes qui sont entraînés en partie dans l'eau filtrée, dans le procédé Anderson, cette même couche est constituée par de l'oxyde de fer colloïdal et des matières insolubles *mortes*, les microbes ayant été détruits antérieurement, au moins

constatent la limpidité et la bonne saveur de l'eau filtrée.

Au point de vue chimique, il y a réduction notable des matières organiques dosées d'après quantité d'oxygène qu'elles consomment à l'aide du permanganate de potasse en solution acide, et aussi d'après le titrage de l'ammoniaque albuminoïde en liqueur alcaline. Ainsi, à Boulogne, la dimin des matières organiques peut atteindre 75 o/o; elle est en moyenne de 33 o/o ; l'eau filtrée dans le cours normal des expériences a toujours consommé moins de 2 milligrammes d'oxygène par litre, ce qui constitue une eau parfaitement potable.

A Anvers, en 1889, on a obtenu pour un litre d'eau analysée :

Résidu d'évaporation.	0gr.140	à	0gr.193
Matières organiques (Kubel).	0 027	à	0 053
Ammoniaque (méthode directe).	Néant.		
— libre (méthode Wanklym). .	Traces.		
— albuminoïde (méthode Wanklym)	0 00009	à	0 00001
Chlore.	0 015	à	0 016
Anhydride sulfurique.	0 015	à	0 020
— nitrique.	0 000	à	0 003
— nitreux.	Néant.		
Degré hydrotimétrique	7°,5	à	11°

A Boulogne, le degré hydrotimétrique, la teneur en chlorures et en azotates ne sont pas sensiblement modifiés.

D'une façon générale, l'ammoniaque libre et l'acide nitreux sont totalement éliminés.

A l'usine de Lea-Bridge, les analyses successives ont montré l'amélioration progressive des filtres au

ur et à mesure de l'installation plus complète des purificateurs :

		Ammoniaque en m/m par litre	
		Libre.	Albuminoïde.
1er octobre 1885.	Eau ordinaire. . .	0,04	0,04
	Eau purifiée. . . .	0,015	0,02
octobre 1885.	Eau ordinaire. . .	0,01	0,03
	Eau purifiée. . . .	0,00	0,01
tobre 1885.	Eau ordinaire. . .	0,01	0,03
	Eau purifiée. . . .	0,00	0,01

Nous arrivons enfin à l'action de la méthode Anderson sur la teneur de l'eau en microbes.

D'après Van Ermengen, les analyses bactériologiques de l'eau de la Nèthe, purifiée dans l'usine de Wælhem pour les besoins d'Anvers, ont donné, ponr le 1er trimestre de 1889, 31 à 140 colonies par centimètre cube après quatre jours; pour le 2e trimestre, 4 à 6 microbes par centimètre cube *immédiatement au sortir des filtres* et avant tout contact ultérieur avec l'air. L'eau primitive renfermait 100.000 microbes par centimètre cube.

A Boulogne, l'eau *débitée par les filtres* contient 200 à 400 microbes par centimètre cube; la réduction est de 995 à 999 pour 1.000.

On voit, en résumé, que la purification de l'eau est aussi parfaite qu'on peut le désirer industriellement, la composition chimique et sa teneur en microbes la rapprochant des eaux de source. En tout cas les résultats obtenus sont, à tous les points de vue, supérieurs à ceux que donne le simple filtrage de l'eau sur des filtres à sable. On vient de voir

que, *à la sortie des cylindres* rotatifs, l'eau ne contient pour ainsi dire plus de microbes, par conséquent que si l'eau primitive contient des microbes nuisibles, ceux-ci ont été détruits. Que l'eau renferme ensuite *à la sortie des filtres* un plus grand nombre de microbes, cela n'est pas étonnant, car la filtration se fait à l'air libre, mais il ne peut s'agir en l'espèce que de microbes vulgaires ; nous avons déjà dit plusieurs fois que ce serait poursuivre une chimère que vouloir obtenir en grand une eau ne contenant pas un seul microbe, de quelque nature qu'il soit : demandons seulement qu'elle ne contienne plus de microbe nuisible, et ce sera déjà un résultat magnifique.

Extension du système Anderson. — Ce qui semble indiquer d'ailleurs la valeur de ce système, c'est qu'il est employé dans un nombre de villes de plus en plus grand.

A Wælhem près de Malines (Belgique), où se trouve la prise d'eau destinée à alimenter *Anvers*, il y a cinq purificateurs pouvant donner, lorsqu'ils marchent ensemble, 15.000 mètres cube d'eau par 24 heures.

A *Agra*, dans l'Inde anglaise, on utilise les eaux de la rivière Jumna ; il y a trois purificateurs de 7.668 litres chacun de capacité, trois bassins de décantation ayant 7.200 mètres cubes de capacité et trois filtres à sable débitant ensemble 4 mètres cubes par mètre carré et par 24 heures.

A *Dordrecht*, en Hollande, les eaux de la Meuse

sont fréquemment troubles et fortement colorées et nécessitent une filtration très lente, 2 mètres cubes par mètre carré et par 24 heures ; comme d'autre part, l'accroissement de la consommation nécessitait l'extension des bassins de décantation et des filtres à sable, François, ingénieur du Service des eaux, s'est adressé à la Compagnie des purificateurs Anderson, qui s'est engagée à traiter par 24 heures un volume de 53.000 mètres cubes, à clarifier le liquide, à lui enlever sa couleur et 60 o/o des impuretés organiques qu'il contient. Le succès de cette installation, d'après les rapports de François, a été complet : les eaux sont claires, incolores et sérieusement améliorées au point de vue bactériologique.

A *Gouda* (Hollande), il y a un purificateur de 5.843 litres destiné à traiter les eaux jaunâtres de la rivière d'Yssel.

A *Ostende,* les résultats des expériences tentées en 1887 ont été très favorables.

En France, ce système fonctionne à *Boulogne-sur-Seine* où l'eau est puisée directement dans la Seine, en aval du pont de Sèvres, mais en amont du débouché de l'égout collecteur de Clichy. D'après les renseignements que je dois à l'obligeance de M. Boutin, le savant directeur des Compagnies des Eaux de Paris et de la banlieue, le volume d'eau purifiée est de 5.000 mètres cubes par jour ; le débit des filtres est de 4 mètres cubes par 24 heures et par mètre carré de superficie ; les bassins de décantation sont calculés de façon à répondre à 1/8 du débit journalier. Le nettoyage se fait toutes les

trois ou quatre semaines. Nous avons vu plus haut les résultats au point de vue chimique et bactériologique. Le résultat a été si satisfaisant que la Compagnie se propose d'installer prochainement trois nouvelles usines situées à Choisy-le-Roi pour un débit de 30.000 mètres cubes, à Neuilly-sur-Marne pour un débit de 33.000 mètres cubes, et à Nogent-sur-Marne pour un débit de 10.000 mètres cubes.

Libourne (Gironde) emploie aussi le système Anderson pour la purification de ses eaux. L'alimentation de la ville, très défectueuse en principe, se faisait, soit par des puits particuliers contaminés en partie par des fosses d'aisance peu étanches, soit par les eaux puisées directement dans la Dordogne que les habitants filtraient préalablement au moyen du filtre primitif en pierre, soit enfin par l'eau d'un puits artésien vendue très cher.

Privée de sources suffisantes, ainsi qu'en témoignent les nombreux et divers projets qui ont été présentés depuis 1836, la ville de Libourne s'adressa à la Dordogne, dont l'énorme débit offrait toute garantie sous le rapport de la quantité au moins. Cette rivière, dont les eaux sont assez pures, présente l'inconvénient d'être toujours plus ou moins chargée de matières en suspension. Il fallait donc filtrer l'eau.

Pour rendre cette opération efficace et détruire dans la limite du possible les microbes, les eaux puisées en plein courant, dans le lit même de la Dordogne, à 11 kilomètres environ de la ville, en suivant les sinuosités de la rivière, c'est-à-dire à

une distance telle que les eaux d'égout de la ville n'arriveront jamais à la prise, quelle que soit l'importance des marées, les eaux, disons-nous, sont dirigées dans deux purificateurs Anderson, capables de traiter chacun 150 mètres cubes d'eau à l'heure. A la sortie de ces appareils, l'eau est conduite par un long couloir armé de chicanes destinées à faciliter son contact avec l'air, sur une auge percée de trous la laissant ainsi tomber en minces filets dans les couloirs de décantation où les dépôts, facilités par une suite de nouvelles chicanes, s'opèrent graduellement pendant la marche de plus en plus lente de l'eau vers les filtres. Une vanne convenablement réglée amène, dans un petit couloir longeant les filtres, l'eau nécessaire à leur alimentation. Pour faciliter le nettoyage des couloirs de décantation et de distribution aux filtres, une légère pente vers les vannes de décharge a été ménagée dans leurs radiers.

Une série de 10 chambres de 18 mètres $\times$ 7 mètres offrant par conséquent une surface filtrante de 126 mètres carrés constituent les filtres. Chaque chambre est recouverte par une voûte en ciment avec ossature métallique de 7 mètres de diamètre et de 7 centimètres d'épaisseur, supportant une couche de terre de 0^m40. Les murs d'enceinte et de refend des couloirs de décantation, filtres et galeries, sont en béton de ciment composé de deux volumes de gravier et d'un volume de mortier. Les chambres réunies de une à deux forment cinq bassins de filtrage, dont quatre sont toujours en fonction, le

cinquième restant en attente ou en nettoyage. L'ensemble des quatre bassins présente une surface totale de 1.008 mètres carrés, pouvant fournir un cube journalier de 3.528 mètres cubes, en fonctionnant à raison de $3^{m}50$ par mètre carré et par 24 heures.

Chaque filtre est composé à sa partie inférieure, sur le radier, d'un drainage général formé par deux assises de briques convenablement disposées pour fournir le débit exigé avec le minimum des matériaux. Ces briques sont recouvertes d'une couche moyenne de $0^{m}25$ de gravier, dont la grosseur va en diminuant du radier à la partie supérieure de la couche. Sur le gravier repose un lit de sable de $0^{m}60$ d'épaisseur. La nappe d'eau au dessus du sable a une épaisseur de $0^{m}85$. Un collecteur placé à la partie inférieure de chaque chambre conduit l'eau filtrée dans un puisard commun à deux chambres. Par l'intermédiaire d'un régulateur donnant toujours le même débit, quelque soit le degré d'accroissement du filtre, l'eau filtrée se rend dans la galerie de réserve en communication avec le puisard, où des pompes élévatoires la prennent pour la refouler dans un réservoir situé à 3.600 mètres de l'usine.

Les trois filtres dont nous allons donner la description sommaire ont pour but de remédier par des moyens mécaniques à l'engorgement plus ou moins rapide de la couche filtrante, ce qui est le côté défectueux de la plupart des appareils de filtration.

Le *filtre Farquhar* a été le résultat des études faites par la compagnie de Fives-Lille pour le perfectionnement des procédés de filtrage des jus sucrés; nous ne l'indiquons que parce qu'il repose sur un procédé dont le principe pourrait être appliqué à la filtration d'eaux très impures.

Il consiste en un cylindre dont le fond perforé et garni de grosse toile est recouvert à l'intérieur par une épaisseur plus ou moins grande de la mar tière filtrante la mieux appropriée au liquide à traiter. Un dôme surmonte le cylindre, le clôt hermétiquement, et est traversé en son centre par un arbre creux dont la partie supérieure est filetée. Cet arbre sert de conduit d'alimentation au filtre et porte à demeure à son bout inférieur un plateau d'un diamètre correspondant à peu près au diamètre intérieur du cylindre. Ce plateau est entaillé sur un rayon en forme de secteur, dont l'un des bords est garni dans toute la longueur du rayon d'une lame de rabot dépassant un peu la face inférieure du plateau. Des engrenages disposés au sommet de l'arbre lui impriment le mouvement de rotation nécessaire pour promener circulairement la lame de rabot sur toute la surface de la couche filtrante, Dans ce mouvement, la lame chasse devant elle les matières déposées, et celles-ci prises entre la lame et une plaque inclinée montent sur le plateau où elles s'accumulent avec les portions de la couche filtrante qui se sont mêlées avec elles; le liquide à filtrer rencontre donc toujours une surface filtrante propre et dégagée de toute obstruction.

Pour le nettoyage on opère de la manière suivante : la couche étant suffisamment réduite pour qu'il soit nécessaire de la renouveler, on arrête l'alimentation, on insuffle de l'air comprimé pour dessécher partiellement les dépôts accumulés sur le plateau ; on relève le dôme ; puis on fait tourner l'arbre en sens inverse ; le plateau remonte, on le débarrasse de ses dépôts, et on renouvelle la couche filtrante. Le plateau redescendu et le dôme fixé. l'appareil est prêt à fonctionner de nouveau. La capacité de travail par 24 heures pour un filtre de 2 mètres de diamètre est de 700.000 litres de jus sucré. L'appareil a donné également d'excellents résultats pour la clarification des eaux d'égout et l'épuration des eaux vannes et des matières de vidange.

Le *filtre Hyatt* consiste essentiellement en une caisse cylindrique formée de sections en fonte assemblées par des tirants verticaux. Chaque section porte, venue de fonte avec elle, une partie correspondante des tuyaux d'arrivée de l'eau à filtrer et de sortie de l'eau filtrée. Ces tuyaux sont eux-mêmes en communication avec la conduite générale d'amenée et celle de décharge, et les communications peuvent être fermées par des robinets. La section forme une espèce de caisse au centre de laquelle est percé un trou qui donne passage à un tuyau vertical destiné au nettoyage. Chaque caisse devant fournir un débit limité, on emploie un nombre de caisses en rapport avec la quantité d'eau

à traiter; leur hauteur varie avec le degré d'impureté du liquide. La couche filtrante a une hauteur proportionnée à celle de la caisse; elle varie en général de 25 à 50 centimètres; mais sa surface est toujours à une distance de 10 centimètres environ du fond du compartiment supérieur. Elle est formée de certains sables de plage de grosseur uniforme, l'expérience ayant démontré qu'il était inutile d'employer des graviers de grosseur différente. Pour empêcher complètement l'entraînement du sable, les ouvertures d'échappement sont munies d'un plan incliné ou pont en tôle métallique qui repose sur le fond de la caisse. Ce fond est cannelé, et porte des tôles perforées qui recouvrent toute sa surface et sont maintenues par un anneau métallique serré contre les rebords de la caisse. Les cannelures sont disposées de manière à diriger l'eau sous le pont, d'où elle s'échappe par les ouvertures du tuyau de sortie.

L'eau entre par des portes de forme allongée et rectangulaire situées sous le fond du compartiment supérieur; elles sont munies de prolongements ou tabliers horizontaux qui s'étendent vers le centre de l'appareil dans la partie supérieure de la caisse. L'eau passe à travers la couche de sable et vient se réunir entre la tôle perforée et le fond cannelé, et nous vu que, grâce à la disposition des cannelures, elle s'écoule par le tuyau de sortie.

Pour le nettoyage le tuyau vertical situé au centre de l'appareil porte branchés sur lui d'autres petits tuyaux horizontaux ou laveurs qui peuvent se mou-

voir dans l'espace vide au dessus de la surface de la couche filtrante ; ils sont percés à leur partie inférieure d'orifices pour les jets d'eau destinés au nettoyage. Dans chaque espace intermédiaire le tuyau vertical est entouré d'un tube dont l'extrémité inférieure est filetée extérieurement pour s'engager dans l'ouverture centrale du fond de la caisse qui est taraudée en écrou ; ce tube monte d'ailleurs au dessus de la couche filtrante. Il en résulte que toutes les sections sont indépendantes les unes des autres et que les graviers fins, qui forment les couches filtrantes, ne viennent pas se tasser autour du tuyau central et en empêcher le fonctionnement. Ce tuyau central passe au dessus de l'appareil dans un presse-étoupes et communique avec une prise d'eau ; il est muni d'une manivelle propre à lui imprimer un mouvement de rotation.

Quand on veut nettoyer l'appareil, on ferme les robinets sur les tuyaux d'arrivée et de décharge ; puis on ouvre la communication entre le tuyau vertical et la prise d'eau (il faut au moins une pression d'eau de 1 1/2 atmosphère), il en résulte des jets d'eau qui sortent par les orifices des petits tubes laveurs horizontaux ; ces jets doivent être assez forts pour remuer toute la couche de gravier ; on tourne le tube central de façon à balayer le gravier dans toutes ses parties. Il en résulte que les impuretés plus légères que le gravier montent à la surface et sont entraînées par le courant dans un tuyau spécial de décharge qu'on a ouvert au moment du nettoyage. Le sable qui pourrait être entraîné par

un brassage aussi énergique est arrêté par le tablier des portes d'entrée de l'eau ; et le peu d'espace laissé entre les laveurs et la surface de la couche filtrante leur permet d'en opérer eux-mêmes le nivellement.

Quand le filtrage se fait au moyen d'appareils disposés en batterie sur la même conduite. on peut nettoyer tour à tour chaque filtre séparément, sans interrompre le fonctionnement des autres. Le nettoyage d'un filtre exige au maximum pour de l'eau très impure 1 o/o de l'eau filtrée ; il dure de trois à six minutes, et un seul nettoyage suffit en général pour une journée.

Pour éviter l'oxydation des pièces en contact permanent avec l'eau, on n'emploie que des pièces préparées d'après les procédés Bower Barff. La capacité de filtration peut varier de 5.000 à 15 000 litres par heure et par mètre carré de surface filtrante.

Plusieurs de ces filtres fonctionnent aux Etats-Unis pour les distributions d'eau de Newport (Rhode-Island) et de Sommerville (New-Jersey), ville de 5.200 habitants ; on les a installés aussi dans un grand nombre de fabriques où l'on a besoin d'eau limpide (papeteries de Rochester, Compagnie d'aniline d'Albany, raffinerie Warmoth (New-Orléans), distilleries d'Anvers, etc.)

Dans le *filtre de la Pulsometer Engineering C°*, les innovations ont porté à la fois sur la nature de la couche filtrante et sur le mode de nettoyage, qui

offrent d'ailleurs une entière connexité. Un cylindre en fonte fermé par un dôme à sa partie supérieure et muni d'un presse-étoupes donne passage à une tige de piston. Ce piston est formé d'un anneau sur lequel on fixe une toile métallique au moyen d'une bague. La matière filtrante qui n'est autre chose qu'une couche d'éponge se place entre la face supérieure du piston et une plaqne perforée qui forme la base du collecteur située au dessous du dôme.

Entre le presse-étoupe et le guide supérieur, la tige présente une partie filetée sur laquelle s'ajuste une tête de bielle reliée à un double levier qui oscille autour d'un point fixe. Ce levier sert à donner au piston le mouvement de montée et de descente; il est lui-même commandé, suivant les circonstances et la grandeur de l'appareil, soit à la main, soit par une manivelle, soit enfin par la vapeur.

L'eau impure amenée par la conduite d'alimentation placée à la partie inférieure de l'appareil, pénètre de bas en haut à travers le piston et l'éponge comprimée, et se réunit dans le collecteur situé à la partie supérieure, pour s'échapper par un tuyau de sortie.

Pour le nettoyage on ferme la conduite d'alimentation, on ouvre un orifice destiné à l'introduction de l'air, puis on fait arriver l'eau pure du collecteur et du tuyau de sortie, et on met le piston en mouvement. L'eau pure remplit les pores de l'éponge et en est exprimée avec toutes les impuretés par la

compression et la dilatation alternatives auxquelles donne lieu le mouvement du piston.

Cet appareil sur lequel nous n'insisterons pas est fondé sur un système de nettoyage très ingénieux, mais possède un vice radical, c'est l'emploi comme matière filtrante d'éponges, c'est-à-dire d'une substance éminemment favorable au développement des microbes, et par suite très putrescible.

En Amérique, le *filtre à sable* revêt souvent la forme suivante : Il consiste en une cage composée d'un tube en fer de 1^{m}7 de hauteur et de 6^{m}7 de diamètre, assez solide pour pouvoir résister à toute pression éventuelle. Elle contient un lit de sable de 1^{m}4 à 1^{m}2 de profondeur. L'eau passe au travers du filtre sous pression et sort par le fond par une série de valves construites de manière à laisser passer l'eau mais à retenir le sable. Après un certain temps, quand la saleté s'accumule à la surface et à travers le lit de sable, l'opération est inverse ; un courant d'eau filtrée est renvoyé de bas en haut, le sable est lavé et les impuretés sortent par un tuyau et le filtrage recommence. Dans la pratique, après avoir filtré pendant dix heures, un filtre opérant sur une eau comme celle du Genessée, qui contient 0 ^{g} 284 d'ammoniaque dans 4^{l} 5 d'eau et 112 colonies de bactéries par centimètre cube, peut être purifié par un lavage de dix minutes.

On voit que ce n'est pas autre chose qu'une simplification du filtre Hyatt.

Filtre Hotwatson.

Ce filtre est aussi un filtre à sable qui rappelle

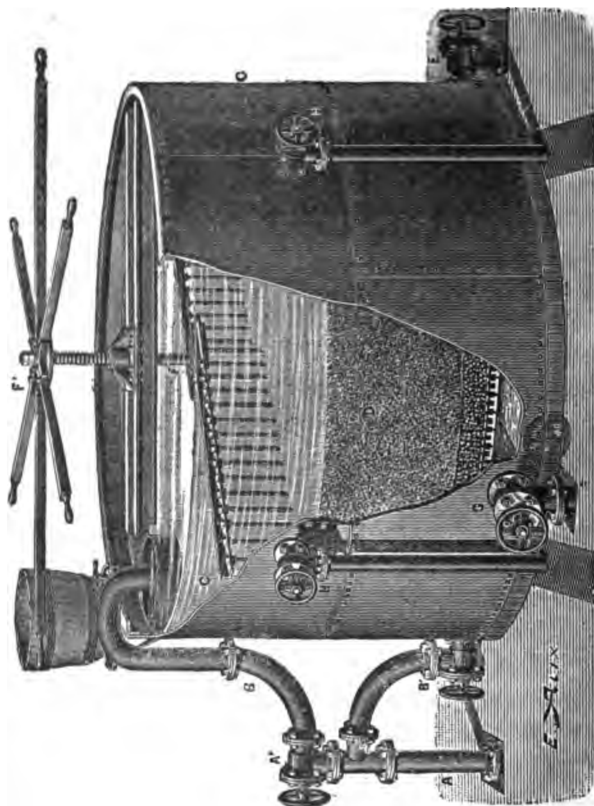


Fig. 6 — **Filtre Howatson.**

les filtres précédents. Ainsi que le montre la fig. 6,

l'eau arrive par les tubes A A′ B, traverse la couche filtrante D et sort par la partie inférieure.

En même temps, l'appareil F F′ C permet de remuer la partie supérieure de la couche filtrante lorsqu'il est besoin de la nettoyer. La vis F F′ sert à régler la profondeur de la couche filtrante qui doit être brassée; les impuretés s'écoulent par H. G sert à évacuer l'eau de lavage après l'opération. Pour nettoyer le filtre, on fait arriver l'eau par A B′ en sens inverse.

Le *filtre de Fischer-Peters*, qui a été essayé à Worms et à Kiel consiste en pierres artificielles, plates et creuses, d'un mètre de hauteur et d'un mètre de largeur, faites de sable de rivière lié avec du silicate de soude calcaire et cuites au feu. Quand on immerge dans l'eau une de ces pierres, l'eau y pénètre par tous les côtés et arrive, purifiée par son passage à travers la paroi, dans l'espace vide intérieur, d'où l'on peut, à l'aide d'un tuyau introduit par la partie inférieure de la pierre, la conduire au dehors. A Worms on a construit un bassin de 272 mètres carrés de surface dans lequel sont placés 978 de ces éléments filtrants, ainsi appelés parce qu'ils sont formés de deux pierres perpendiculaires l'une sur l'autre. Le filtre se nettoie en y faisant repasser l'eau de distribution de dedans en dehors, ou même, comme à Worms, on a fixé sur les batteries de filtres, une conduite de vapeur qui permet d'y faire passer un courant de vapeur d'eau en vue de détruire les germes pathogènes, parce

que, par suite du fonctionnement, la vase qui, normalement, tombe au fond à cause de la verticalité des pierres, pénètre peu à peu néanmoins dans les pores. On est, paraît-il, très satisfait de ces filtres à Worms ; l'ingénieur Pippig qui l'a essayé à Kiel y est aussi très favorable. Toutefois, l'eau filtrée contient toujours une faible proportion de germes.

Les *appareils de la Compagnie générale de filtrage* des eaux de Paris, perfectionnés par A. David se composent de deux cuves concentriques, de forme cylindro-conique, complètement isolées l'une de l'autre. Chacune est surmontée d'un couvercle et l'assemblage de ces pièces est fait par des boulons glissant dans les encoches des cornières respectives. La cuve extérieure porte trois tubulures, dont deux latérales, suivant l'axe d'une même génératrice, et la troisième au centre de la partie inférieure. A ces tubulures terminées par des brides, viennent s'adapter les différents robinets dont la manœuvre aboutit à la marche de l'appareil ou à sa purge. Le couvercle de cette cuve est percé au centre et donne passage à une tige filetée traversant un presse-étoupes. Cette tige porte à son extrémité inférieure une soupape pouvant fermer hermétiquement l'orifice ménagé au centre du couvercle de la cuve intérieure, et se termine à la partie supérieure par un anneau servant à la faire monter ou descendre. La partie annulaire, comprise entre les deux cuves, constitue le dégrossisseur et est

remplie d'éponges préparées, fortement comprimées entre deux grilles. Le filtre proprement dit, établi dans la cuve intérieure, est formé par diverses couches de matières filtrantes reposant sur des grilles recouvertes de toiles métalliques. Les robinets des tubulures latérales sont reliés par un tuyau ayant pour but de faire traverser le dégrossisseur par un courant inverse. Les matières filtrantes employées sont de la laine imputrescible, de l'amiante, du grès pulvérisé, du noir animal, des graviers et des éponges préparées.

Ce filtre nous semble bien compliqué, et ce qui est critiquable au plus haut point, c'est l'emploi de matières organiques, comme la laine et l'éponge, véritables nids à microbes.

Filtre de la Société d'épuration des eaux de Neuilly. — Cet appareil a été construit dans le but d'épurer d'abord l'eau par le procédé Clark (chaux et carbonate de soude) et de filtrer ensuite cette eau pour enlever le dépôt formé.

Dans un récipient cylindrique en tôle un agitateur mélange à une petite quantité d'eau de la chaux et du carbonate de soude; devenue claire, la dissolution est versée dans l'eau à purifier suivant une proportion que déterminent des flotteurs. Le liquide avec ses impuretés arrive dans un grand cylindre de décantation et dépose ses boues à la partie inférieure d'où il est facile de les extraire au moyen d'un robinet de vidange. L'eau achève de s'épurer en traversant de bas en haut un filtre de paille de

bois, situé au milieu de l'appareil et pénètre dans un récipient supérieur, réserve d'eau épurée.

Cet appareil a été construit pour l'épuration des eaux destinées à l'alimentation des chaudières, mais il pourrait être utilisé pour l'adoucissement des eaux potables, problème qui s'impose à certaines villes, comme nous allons le voir pour Southampton.

Adoucissement et filtrage des eaux de Southampton.

Nous allons décrire cette installation pour montrer le parti qu'on sait tirer aujourd'hui d'eaux naturellement impropres à la consommation à cause de leur composition chimique.

L'eau d'alimentation de la ville de Southampton est puisée, depuis 1885, dans deux puits forés dans la craie. Ces deux puits sont reliés par des galeries de 122 mètres de longueur, 3^m960 de hauteur et 1^m220 de largeur, placés à 16^m770 au dessous du sol. L'eau puisée est de 13.629 mètres cubes par jour; la dépense moyenne par jour a été, pendant l'année 1890, de 10.221 mètres cubes.

L'usine d'Otterbourne, où sont installés les pompes et les filtres, est située à l'ouest de la London and South Western Railway, à 1.600 mètres de la station de Shairford et à 12.800 mètres de Southampton.

L'eau est refoulée par une conduite de 600 millimètres dans un réservoir couvert situé à 1.810 mè-

tres de l'usine et à $48^{m}80$ au dessus du niveau des pompes. De là, l'eau s'écoule par la gravité vers Southampton par une conduite de 400 millimètres de diamètre intérieur et de 7.240 mètres de longueur jusqu'à Swathling, où cette conduite est reliée à la conduite existante de 600 millimètres allant de l'usine aujourd'hui abandonnée de Mansbridge jusqu'aux réservoirs situés à Southampson même.

Adoucissement. — En présence de la forte teneur en chaux de l'eau des puits, la municipalité a chargé William Matthews d'étudier le procédé le plus convenable pour adoucir cette eau.

Jusqu'en 1884, trois méthodes pour l'adoucissement des eaux titrant beaucoup de chaux étaient en usage pour l'eau d'alimentation des villes :

1° Dans le système très simple du docteur Clark, le carbonate de chaux précipité, résultant du mélange de l'eau à traiter et d'une solution de chaux, est recueilli dans de grands réservoirs de dépôt, où l'on puise, après un certain temps, l'eau épurée ;

2° Une modification du procédé précédent consiste à faire usage, au lieu de réservoirs de dépôt, de presses de filtrage pour soutirer le carbonate de chaux précipité. Ce système, dû à J.-H. Porter, a été récemment perfectionné d'une manière notable, ainsi qu'en témoigne l'installation faite au Penarth Dock ;

3° Une autre modification du procédé du docteur Clark consiste dans l'emploi d'un dispositif de

filtrage semblable à celui de Porter; mais, au lieu de presses, on se sert de disques, qui supportent les feutres des filtres de manière à permettre leur nettoyage mécanique sans les démonter. Ce système a été imaginé par F. et W. Atkins.

C'est ce dernier système qui a été adopté par Matthews parce qu'il exige une surface moins considérable et surtout à cause de la possibilité de nettoyer les filtres sans les démonter, un seul homme suffisant à leur entretien.

L'eau est puisée dans les puits par des pompes d'aspiration qui amènent, au moyen d'un réservoir d'air annulaire commun, l'eau dans une conduite de 600 millimètres, placée dans un tunnel au dessous des bâtiments de l'usine, par où l'eau s'écoule dans un mélangeur de l'installation d'adoucissement.

Une fois l'eau adoucie, elle est amenée d'un réservoir spécial par des conduites de 900 millimètres jusqu'aux pompes de refoulement qui la conduisent comme nous l'avons vu, dans un réservoir couvert à l'aide de conduites de 600 millimètres.

Quant à l'installation pour l'adoucissement de l'eau, elle se compose de deux fours à chaux, de moulins consistant en cylindres en fonte pour la pulvérisation de cette chaux, de bacs où se fait le lait de chaux qui est ensuite passé à travers des tamis puis réuni dans un réservoir spécial, où une injection d'air maintient toujours le mélange homogène, d'une pompe destinée à puiser ce lait de chaux et à l'amener dans deux cylindres en acier

doux ouverts à la partie supérieure et dans lesquels arrive de l'eau adoucie venant de la conduite de service. Ce mélange de lait de chaux et d'eau adoucie a pour but l'obtention de l'eau de chaux nécessaire au traitement de l'eau arrivant des puits; aussi appelle-t-on les deux cylindres dont il vient d'être question, les cylindres à eau de chaux. Ce mélange se fait toutes les six heures; on se sert d'eau déjà adoucie, afin d'éviter la précipitation de carbonate de chaux dans ces cylindres.

L'eau de chaux est ensuite soutirée par une série de tuyaux collecteurs perforés, placés horizontalement dans chaque cylindre, à 450 millimètres au dessous du sommet, communiquant avec un tuyau de 150 millimètres, muni d'un robinet d'arrêt et d'une valve de réglage graduée qui conduit l'eau dans le réservoir de mélange où elle arrive en contact avec l'eau non adoucie venant des puits. Un robinet de vidange de 150 millimètres est fixé au fond de chaque cylindre et, au moyen de tuyaux, la chaux inutilisée est périodiquement évacuée dans des fosses placées à côté des bâtiments de l'usine.

Le réservoir servant au mélange est ouvert en haut; il est en fer forgé, sa profondeur est de 915 millimétres et sa longueur de 4^{m} 570. A l'extrémité où entre l'eau à épurer, ce réservoir a une section en forme de demi-cercle et à l'autre extrémité il a une largeur de 2^{m} 440. La conduite de 600 millimètres venant de la pompe d'aspiration entre par le fond du réservoir du mélange, et, pour faciliter le mélange de l'eau à épurer avec l'eau de

chaux, le réservoir est muni d'une série de gradins. De ce réservoir l'eau s'écoule en nappe mince, grâce à une tôle inclinée et taillée en biseau dans un autre réservoir dit réservoir d'adoucissement ayant de grandes dimensions; au dessous de ce réservoir se trouvent deux canaux de curage. Près de l'extrémité du réservoir tournée vers le bâtiment des filtres, un mur transversal de 1^{m} 440 de hauteur empêche l'eau stagnante du fond de s'écouler vers les filtres; on arrête ainsi une certaine quantité de dépôts qui sont évacués vers la fosse de vidange et le filtrage se trouve considérablement amélioré. L'eau séjourne près d'une heure dans ce réservoir; pendant ce temps, la précipitation du carbonate de chaux est achevée et l'eau peut passer dans les filtres sans qu'on ait à craindre de dépôts ultérieurs de ce sel dans les conduites.

Filtrage. — L'installation comporte 13 filtres dont les 10 placés près du réservoir d'adoucissement sont alimentés directement; les 3 autres sont alimentés par un petit réservoir placé dans un atelier dit de séparation et qui est rempli par l'intermédiaire d'une conduite de 450 millimètres venant du réservoir et passant sous le plancher du bâtiment des filtres. On a réservé en outre la place pour sept filtres, et les plaques fixées sur le plancher ainsi que les tuyaux sont disposés de manière à pouvoir être augmentés à n'importe quelle époque, sans troubler les opérations ordinaires.

Il y a un réservoir d'alimentation en fonte qu

communique avec le réservoir d'adoucissement par des tuyaux horizontaux de 150 millimètres qui se terminent par des embouchures sur lesquelles on a posé des robinets recouverts de cuirs épais et actionnés par des leviers et des chaînes.

Chaque filtre consiste en un réservoir ouvert, venu de fonte en une seule pièce, de 18 millimètres d'épaisseur, de 2^{m} 287 de longueur et de 1^{m} 100 de profondeur. La section transversale du filtre-réservoir est en U. L'admission de l'eau se fait par la face d'arrière, à 243 millimètres au dessus du fond. La vidange se fait par un tuyau de raccord courbe de 150 millimètres; l'eau passe par un robinet actionné au moyen d'un levier placé au dessus du plancher. Un support en fonte est boulonné sur la face arrière du réservoir, laquelle porte un coussinet en bronze fixé dans l'axe, à 1^{m}300 au dessus du sommet. Ce coussinet supporte l'arbre creux d'un diamètre de 138 millimètres, muni en outre de rainures, de sorte que l'eau, s'égouttant des disques qu'il porte, peut entrer dans sa partie creuse. Près de l'extrémité d'avant, on a fixé sur l'arbre une roue dentée actionnée par un pignonet sur arbre; celui-ci est mis lui-même en mouvement par une roue conique qui engrène avec un pignon monté sur un arbre commandé au moyen d'une courroie.

Sur chaque arbre creux sont fixés vingt disques en fonte galvanisée ayant 915 millimètres de diamètre et 21 millimètres d'épaisseur; ils sont recouverts de deux côtés par des tôles en zinc perforées, au dessus desquelles on a étendu une toile de coton

qui agit comme filtre. L'eau [illegible] adoucie ét[...] [illegible] dans les filtres [illegible] ce tissu, pa[...] par les disques, entre [illegible] creux et de[...] en passant par [illegible], dans le réser[...] l'eau adoucie [illegible] au dessus du bâtiment [...] filtres. L'eau est donc parfaitement claire. le ca[...] mais de chaux ayant été arrêté sur les toiles [...] filtres d'où il est enlevé au moyen d'un jet d[...] venant d'un pulvérisateur, ce qui se fait très rap[...] ment.

Résultats. — Des analyses faites par P. Fr[...] [illegible] sur des échantillons pris pendant la ma[...] régulière des opérations *d'adoucissement et de* [...] [illegible], ont montré que le résidu solide dans l'ea[...] [illegible] étant de 32,35 sur 100.000 parties d'ea[...] résidu tombe à 12,07 dans l'eau adoucie. Les de[...] de dureté (échelle anglaise) sont, pour l'eau [...] épurée, de 17,99 et pour l'eau adoucie, de 6,0[...] dépense par 1.000 gallons (4,543 litres) est [...] viron 0 fr. 0025.

La question de bactériologie n'est pas en [...] ici, puisqu'il s'agit d'eau de la *nappe prof*[...] existant dans un banc de craie, c'est-à-dire [...] dépourvue de microbes. Si l'on en *trouve plu*[...] dans les réservoirs et dans les conduites, il n[...] s'agir, évidemment, que de microbes saprop[...] provenant de l'air.

Filtre Autier et Allaire.

Ce filtre a ceci de particulier qu'il ne renferme pas de matière filtrante; il est basé sur la force centrifuge. Si l'on imprime un mouvement de rotation extrêmement rapide à un liquide renfermant des matières en suspension, celles-ci se précipitent vers la circonférence et, par suite, l'eau qui se trouve au centre devient de plus en plus limpide.

L'appareil se compose d'un grand récipient, dans lequel on introduit le liquide à clarifier par un déversoir placé à la partie supérieure. Au milieu du récipient est un cylindre vertical ayant un diamètre environ moitié moindre, monté sur un axe et pouvant tourner avec une grande vitesse au moyen d'un jeu d'engrenages. Des ouvertures circulaires sont pratiquées sur la surface du cylindre et permettent au liquide éclairci qui occupe le centre du récipient de se réunir dans l'intérieur du cylindre. Le liquide clarifié sort par un orifice placé à la partie inférieure et est dirigé à l'aide d'un tuyau dans un récipient approprié. Quant aux particules solides, rejetées à la circonférence extérieure sur les bords du récipient, elles s'y déposent à cause de la vitesse moindre des couches éloignées, et tombent par l'effet du ralentissement et de leur propre poids. Elles se trouvent toutes réunies dans une tubulure qui, à l'aide d'un tuyau, les conduit au dehors.

Cet appareil, par la simplicité et l'économie du fonctionnement peut rendre de grands services dans

les industries du papier et du sucre, où l'on opère sur de grandes masses. Le dégagement du liquide purifié est toujours facile; il n'y a pas à craindre d'engorgement, les parties solides étant rejetées à l'opposé. Il va sans dire qu'on fait varier le degré de clarification, soit par la vitesse de rotation des engrenages, soit par l'ouverture variable donnée aux valves de sortie.

On a proposé d'appliquer ce procédé à la purification des eaux potables, surtout lorsqu'il s'agit d'eaux de rivières chargées de limon, par exemple. Nous ne savons pas si ce projet a été mis à exécution. Si la plupart des particules solides sont éliminées, il est à craindre qu'il n'en soit pas de même pour les microbes, dont le poids est si minime qu'il ne doit guère être influencé par la force centrifuge. Cependant on a essayé, dans ces dernières années, la séparation des microbes dans un bouillon de culture au moyen de la force centrifuge, et il a été constaté que la plus grande partie des microbes s'était réunie dans les couches excentriques du liquide; mais de là à une séparation complète il y a loin, et puis il s'agit en l'espèce d'un liquide où les microbes pullulaient.

Epuration par l'électricité.

On a proposé aussi l'emploi de l'électricité pour la destruction des matières organiques et des microbes. L'eau traversée par un courant électrique

donne naissance, comme on sait, à un dégagement d'hydrogène et d'oxygène ; ce sont ces deux gaz qui, à l'état naissant comme on disait encore il y a quelques années, réagissent sur les matières organiques pour les détruire. Le mécanisme des réactions qui produisent ce résultat doit, il est vrai, être plus compliqué; car l'eau renferme des sels qui subissent l'action décomposante du courant électrique, et les corps ainsi produits, le chlore par exemple si l'eau tient des chlorures en dissolution, ne peuvent pas être sans action sur les matières organiques. On connaît d'ailleurs l'application industrielle de ce procédé au blanchiement des fibres végétales dans les papeteries.

C'est le docteur Dobell qui semble avoir le premier proposé dans le *Times* de détruire les germes malsains renfermés dans l'eau potable en faisant passer dans cette eau un courant électrique.

La même idée semble avoir été conçue par le docteur Stéphen Emmens. Son filtre électrique se compose d'un récipient en verre dans lequel sont placés des vases poreux ; ces vases contiennent de la houille ou du fer spongieux et des plaques de charbon qui sont reliées au pôle positif d'une batterie Leclanché, ils sont séparés les uns des autres par d'autres plaques de charbon qui communiquent avec le pôle négatif de la pile. L'eau arrive dans les vases poreux, traverse la houille ou le fer, et s'écoule du récipient extérieur.

On a aussi construit des filtres plus grands pour la purification des eaux d'égoût. Dans ce but, les filtres

ont la forme d'une conduite, divisée par des cloisons en une série d'éléments que les eaux traversent successivement. Les électrodes sont des cages de bois, alternativement remplies de morceaux de fer et de coke. Avec cette disposition, la pile primaire n'est plus nécessaire, car la conduite elle-même constitue une puissante batterie dont le courant est plus que suffisant.

Enfin la Stanley electric Company de Philadelphie a mis en expérience le procédé d'épuration par l'électricité. Les électrodes positives étaient formées par des plaques de fer, et les électrodes négatives par des plaques de charbon comprimé.

On voit que j'avais raison de dire que ce n'est pas seulement l'oxygène naissant qui agit, comme le disent les auteurs de ce procédé, mais que les réactions sont beaucoup plus compliquées. Le fer qui entre dans la constitution de ces filtres se dissout en partie dans l'eau et réagit dès lors ainsi que nous l'avons vu à propos du procédé Anderson.

CHAPITRE III

Filtration domestique.

I. — Procédés d'épuration par les substances chimiques.

Avant de décrire les principaux types de filtres employés pour la filtration domestique, je crois devoir placer ici, c'est-à-dire entre la filtration centrale et la filtration domestique, une étude rapide des procédés d'épuration de l'eau obtenue au moyen de réactions chimiques, parce que certaines de ces réactions sont employées aussi bien dans les grandes installations destinées à l'alimentation des villes que dans les petits filtres usités dans les ménages.

Si l'on passe en revue les différentes substances dont on a conseillé l'usage pour purifier les eaux de boisson, on voit qu'on peut les diviser en deux catégories, celles qui ne s'appliquent qu'à certaines eaux de composition chimique déterminée, comme les eaux séléniteuses, les eaux calcaires et magnésiennes, etc., et celles qui, au contraire, peuvent

être employées avec toutes les eaux de composition chimique normale, comme les eaux de fleuves, de rivieres et de lacs, mais souillées artificiellement, pour ainsi dire, soit par des matières argileuses en suspension, soit par l'apport des détritus des grandes villes, résidus d'usines. déjections humaines et animales, etc. Il ne s'agit, bien entendu, dans les deux cas, que de substances modifiant d'une manière quelconque la composition chimique de l'eau, et non pas des ingrédients divers que les hommes ont employés, à différentes époques, pour masquer la saveur de l'eau ; car alors il n'y pas d'épuration proprement dite, l'eau reste aussi nuisible après qu'avant, le goût seul n'est plus désagréablement affecté ; je veux parler de l'addition de l'alcool, du vin, du thé, du café (à part l'action de l'ébullition), de la menthe, des amandes amères ou des feuilles de laurier rose, des semences de ricin, des semences de strychnos potatorum (l'action de cette graine employée dans l'Inde serait purement mécanique, ses cellules mucilagineuses clarifiant l'eau fangeuse, mais les microbes ne sont nullement touchés), etc.

Quelle que soit la substance employée et par suite quelles que soient les réactions chimiques qui se passent au sein de l'eau, il y a toujours ceci de commun à tous les procédés qu'il se forme des matières insolubles, c'est-à-dire un précipité, ce qui exigera par conséquent la filtration ultérieure de l'eau. On peut donc dire d'une façon absolue que que tout procédé d'épuration chimique des eaux comprendra deux opérations successives, la pre-

mière qui aura pour but de transformer, par des réactions chimiques, les substances nuisibles en corps inoffensifs ou insolubles, et la seconde de séparer mécaniquement ces matières insolubles de l'eau qui les tient en suspension.

Si nous nous reportons à ce qui a été décrit à propos des filtres à sable, nous voyons qu'il s'agit là d'une donnée générale ; il n'y pas de procédé de purification des eaux qui soit exclusivement de nature physique ou exclusivement de nature chimique ; ces deux principes interviennent toujours. S'agit-il du filtre le plus simple, composé d'une matière minérale presque dépourvue d'affinité chimique, sable pur, pierre siliceuse, plaques de porcelaine ou d'amiante, il n'y a pas, comme on serait tenté de le croire à priori, uniquement rétention des matières en suspension dans l'eau par attraction moléculaire ou parceque les pores de la matière filtrante sont plus petits que ces matières en suspension ; nous avons montré, par de nombreux exemples, que la composition chimique du liquide filtré est plus ou moins différente de celle du liquide à filtrer, et j'entends parler ici uniquement des corps en *dissolution ;* il y a donc eu réaction chimique, en même temps que séparation physique des corps insolubles.

D'un autre côté, nous venons de voir que dans tous les procédés où c'est la réaction chimique qui domine, il y a ensuite lieu de s'adresser à la filtration, c'est-à-dire à une action de nature physique.

naire, la pullulation des germes avait le temps de

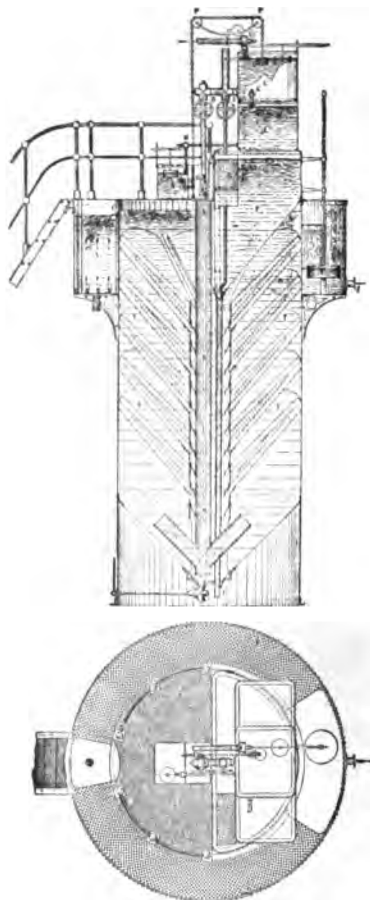


Fig. 7. — Épurateur cylindrique à filtre **extérieur** (système Paul Gaillet)

se produire, et dans les couches supérieures clari-

iées on trouvait plus de colonies qu'avant la clarification.

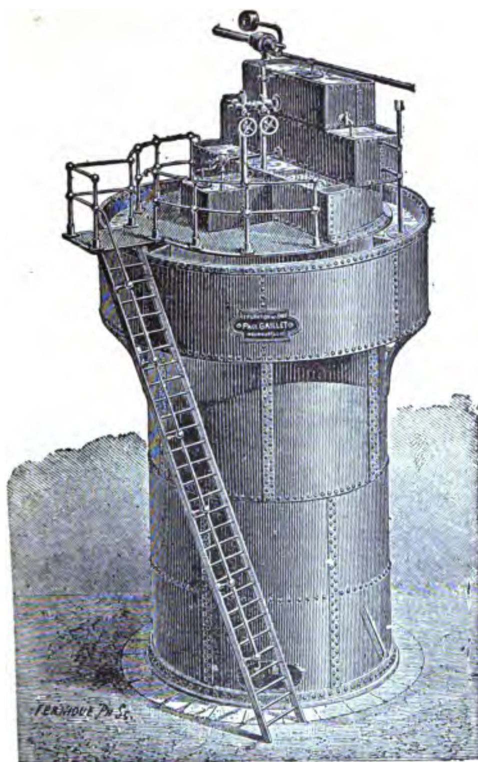


Fig. 8. — Épurateur cylindrique à filtre extérieur (système Paul Gaillet).

Procédé Strohl et Bernou.

Dans certaines localités, en Algérie surtout, où les eaux contiennent souvent une quantité de sels

magnésiens qui les rend laxatives et où, cependant, il est impossible de se procurer une autre eau, il faut de toute nécessité recourir à une épuration chimique. Voici le procédé recommandé par Strohl et Bernou, après de nombreux essais :

Traiter dans un réservoir (tonneau) l'eau en question par un lait de chaux (chaux vive 15 à 30 gr. par hectolitre) en ayant soin d'agiter de temps en temps. La magnésie est ainsi précipitée au bout de 24 heures. On ajoute ensuite à l'eau ainsi modifiée une certaine quantité (180 à 250 grammes) de carbonate de baryte naturel ou withérite, finement pulvérisée ; on agite souvent, on laisse déposer, puis l'on filtre à travers du sable et des gaviers dans un tonneau placé au dessous du premier. Toute la chaux qui se trouve à l'état de sulfate, c'est-à-dire la plus grande partie de cette base, est précipitée après 24 heures.

Comme le fait remarquer Vallin dans l'analyse qu'il donne du travail précédent, il n'est pas sans danger d'employer un sel de baryte, fût-il même complètement insoluble dans l'eau, quand on connaît la toxicité des composés du baryum et quand on songe que la filtration sur du sable peut laisser passer des particules de sulfate ou de carbonate de baryum.

C'est évidemment l'impossibilité d'avoir du gaz carbonique qui a poussé les auteurs en employant un carbonate naturel pour diminuer l'excès de chaux.

Procédé Maignen-Burlureaux.

On l'appelle aussi *procédé à l'anticalcaire*, nom qui indique immédiatement la nature des eaux auxquelles ce procédé s'adresse plus particulièrement.

La chaux renfermée dans les eaux y est, le plus généralement, à l'état de bicarbonate et de sulfate; nous avons vu que les eaux alimentant la ville de Southampton sont particulièrement riches en bicarbonate; on sait, d'autre part, que les eaux des puits creusés dans le bassin de Paris sont chargées de sulfate de chaux, ou, comme on dit, séléniteuses. La chaux peut encore se trouver, mais toujours en très faibles proportions, à moins qu'il ne s'agisse d'eaux minérales proprement dites, à l'état de chlorure et d'azotate.

Lorsqu'il s'agit de grands volumes d'eau à purifier, et c'est le cas qui se présente le plus souvent, soit pour les besoins d'alimentation d'une ville, soit pour les besoins industriels, la meilleure manière d'opérer consiste à analyser l'eau et à ajouter dans cette eau seulement les substances utiles pour précipiter les éléments à enlever et dans les proportions exactement nécessaires, de façon à ne pas laisser dans l'eau purifiée un excès des réactifs. C'est précisément dans ces conditions qu'on se place lorsqu'on emploie le procédé Clark; sachant la teneur de l'eau primitive en bicarbonate de chaux on y ajoute exactement un poids de chaux égal à celui qui est contenu dans le bicarbonate.

Lorsque les eaux renferment en même temps du sulfate de chaux, on y ajoute un poids équivalent de carbonate de soude qui donne par double décomposition du carbonate de chaux insoluble et du sulfate de soude qui reste en solution. C'est ainsi qu'à la Compagnie du Nord on épure les eaux d'alimentation des chaudières en les traitant successivement par un lait de chaux et par une solution de carbonate de soude.

Quant aux traces de chlorure et d'azotate de calcium, elle sont transformées en chlorure et azotate de sodium solubles et en carbonate de chaux insoluble.

Mais l'épuration ainsi conduite, qui est évidemment la seule rationnelle, exige des manipulations complexes, l'analyse préalable de l'eau, le dosage des réactifs, des séries de réservoirs d'adoucissement de décantation, et enfin des filtres. Et cependant ce n'est qu'ainsi qu'on obtient un résultat satisfaisant et c'est aussi la méthode la moins chère, lorsqu'il s'agit de grands volumes d'eau.

Dans le procédé Maignen-Burlureaux, le but qu'on se propose est le suivant: composer un mélange de sels capables de purifier la première eau venue. On voit que le problème ne sera jamais qu'imparfaitement résolu, car il faudra réunir plusieurs sels capables de précipiter chacun pour son propre compte un des éléments de l'eau, et comme ceux-ci sont variables et par nature et par quantité, ou bien on laissera dans l'eau, sans les avoir précipités, certains de ces éléments, ou bien on intro-

duira dans l'eau filtrée un excès des réactifs employés. Ce mélange n'est pas facile à composer; et, comme le dit Burlureaux, pour que l'usage en devienne pratique il faut que les réactifs employés soient facilement maniables, transportables et susceptibles de conservation et pour cela : 1° qu'ils soient pulvérulents; 2° intimement mélangés; 3° à l'abri de toute humidité et du contact de l'air, car l'humidité et l'air transformeraient vite la chaux vive en hydrate puis en carbonate, et l'humidité ferait que ces réactifs agiraient l'un sur l'autre, de sorte qu'au lieu d'un produit pulvérulent on n'aurait plus à sa disposition qu'un plâtras presque inerte.

Quoi qu'il en soit et tout en reconnaissant qu'il est impossible de trouver une formule qui corresponde à *toutes les exigences,* Burlureaux ne pense pas qu'il faille s'arrêter devant ces exigences matérielles et renoncer au traitement chimique sous prétexte qu'il est trop difficile de déterminer la composition de l'anticalcaire convenable; il croit au contraire qu'il est plus sage d'adopter quelques formules qui, dans la pratique, donnent des résultats acceptables. Il reconnaît d'ailleurs que c'est de l'empirisme et que cette purification des eaux par des réactifs à composition constante appliquée à des eaux de composition variable n'a rien de scientifique.

Maignen faisait déjà entrer de tels mélanges dans la construction de ses filtres; voici les formules auxquelles l'avait conduit l'expérience : Pour les eaux qui contiennent plus de carbonate que

de sulfate de chaux, la composition est la suivante :

Poudre de chaux vive.........	9	parties.
Poudre de carbonate de soude.	6	—
Poudre d'alun...............	1	—

Pour les eaux qui contiennent plus de sulfate que de bicarbonate, la formule devient :

Poudre de carbonate de soude.	9	parties.
Poudre de chaux vive........	5	—
Poudre d'alun...............	1	—

Enfin, Burlureaux indique une troisième formule pour les eaux ne contenant pas d'excès de sels calcaires, c'est-à-dire pour les eaux de rivières, telles que l'eau de Seine :

Poudre de chaux vive........	9	parties.
Poudre de carbonate de soude.	5	—
Poudre d'alun...............	1	—
Poudre de sulfate de fer......	1	—

Nous avons indiqué plus haut les réactions qui se passent quand on ajoute seulement de la chaux *ou* du carbonate de soude à l'eau calcaire ; lorsque sur la même eau on fait agir *successivement* d'abord de la chaux, puis quand le précipité de carbonate est déposé, du carbonate de soude, les réactions sont encore assez simples ; mais si l'on ajoute *à la fois* ces deux réactifs et à fortiori les trois et même les quatre réactifs des formules précédentes, les réactions qui se passent sont des plus complexes ;

elles dépendent de la proportion réciproque des sels contenus dans l'eau et de ceux qui forment le réactif, du volume d'eau, de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle on fait le mélange et avec laquelle les précipités formés se déposent, de la température et enfin du temps.

Mais nous allons voir que la nature des réactions est en somme toute secondaire dans le but poursuivi par Burlureaux, qui s'est surtout proposé la stérilisation de l'eau.

Dans l'emploi de ces anticalcaires, la première question pratique qui se pose est celle de la dose à employer. Elle varie nécessairement suivant le degré hydrotimétrique de l'eau. « Toutefois (et ici nous suivons le texte de l'auteur) on obtient les meilleurs résultats en employant un centigramme et demi d'anticalcaire pour chaque degré hydrotimétrique et par litre. Ainsi, une eau très chargée de sels de chaux, titrant par exemple 50° hydrotimétriques, sera traitée par 75 centigrammes de la première préparation, si elle est surtout bicarbonatée, et par 75 centigrammes de la deuxième, si elle est principalement sulfatée.

Dans la pratique domestique, lorsqu'on n'a pas les moyens de trouver le titre de l'eau, on peut procéder de la façon suivante : dans un broc de 10 litres de l'eau à traiter, on ajoute 3 grammes d'anticalcaire, on agite et on goûte ; si l'eau n'a pas une saveur alcaline, on ajoute un autre gramme et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'eau ait une saveur alcaline. En restant quelque peu au dessous du chiffre ainsi trouvé, on aura obtenu la dose maniable. Mais,

dira-t-on, si on ne met pas assez de réactif, l'épuration chimique ne sera pas complète; c'est vrai, mais mieux vaut une épuration partielle que l'absence de toute épuration. Mais, dira-t-on encore, si l'on met trop de réactif, on va rendre l'eau mauvaise. Eh bien! non, quand on dépasse la dose optima, le mal n'est, paraît-il, pas si grand qu'on le jugerait à priori. En d'autres termes, la dose maniable est loin d'être une dose mathématique, surtout si l'eau est très calcaire ou séléniteuse.

Certes, avec de l'eau peu chargée de sels de chaux, la dose maniable varie dans des limites très restreintes. Ainsi, si l'on traite de l'eau très peu calcaire, il n'est pas indifférent de mettre 20 ou 25 centigrammes par litre de réactif; il peut se faire qu'avec 20 centigrammes on obtienne la précipitation de toute la chaux sans que la liqueur devienne alcaline; mais que 5 centigrammes de plus rendent l'eau désagréable, l'auteur l'accorde volontiers. Par contre, si l'on prend une eau très chargée, titrant, par exemple, 120° hydrotimétique; eh bien! pour épurer cette eau, la dose maniable varie entre 80 et 140 centigrammes! En d'autres termes, si, dans cette eau, on met 80 centigrammes par litre, on l'épure convenablement, mais si l'on en met 140, on ne l'adultère pas sensiblement. L'auteur en a fait l'expérience avec une eau très crue provenant d'un puits de Seine-et-Oise, eau impropre à tout usage, dont il a traité un premier litre par 80 centigrammes et un second par 1gr 40 du même réactif; après 24 heures, le titre hydrotimétique était tombé

à 30 pour le premier flacon, à 33 pour le second, et la saveur des deux échantillons était identique et absolument tolérable. L'eau, en somme, avait été grandement et identiquement améliorée avec des doses sensiblement différentes du même réactif.

En résumé, le procédé d'épuration chimique de l'eau de boisson par la chaux, le carbonate de soude et l'alun mélangés sous forme de poudre impalpable, sans être d'une précision mathématique, donne des résultats satisfaisants et l'opération est à la portée de toutes les intelligences. »

Il ressort bien évidemment des lignes que nous venons de citer que l'auteur ne considère ce procédé que comme ayant une valeur très relative, au point de vue chimique ; il ajoute d'ailleurs que ce qu'il a cherché à atteindre, c'est *moins* la purification que la stérilisation. Nous allons voir, en effet, que les résultats sont bien plus satisfaisants au point de vue bactériologique.

Les expériences ont porté sur l'eau de Vanne, l'eau de Seine, sur une eau très séléniteuse d'un puits de Saint-Denis, sur l'eau des drains de Genevilliers, sur une eau détestable d'une région du nord de la France et sur une eau également très chargée de sels envoyée des confins de la Tripolitaine.

La technique générale était la suivante : Dans un demi-litre d'eau à étudier, on ajoutait les microbes pathogènes (charbon, bacille typhique, bacterium coli, choléra), on faisait une prise de cinq gouttes qui servait de témoin, puis on ajoutait l'anticalcaire,

on agitait, on laissait reposer 24 heures et on prélevait cinq gouttes du liquide clarifié et cinq gouttes après agitation; toutes ces prises étaient faites au moyen de pipettes stérilisées et introduites dans un tube de gélatine préalablement liquéfiée, laquelle était versée dans un cristallisoir stérilisé mis à l'étuve à 20°. Le surlendemain, on comptait les colonies et on goûtait l'eau traitée quand l'épreuve bactériologique avait été suffisante.

D'une façon générale les résultats, au double point de vue de la conservation des qualités potables et de la destruction des microbes ont été d'autant plus nets que les eaux étaient plus chargées de sels calcaires et nécessitaient une dose plus forte d'anticalcaire pour être épurées chimiquement.

L'auteur a étudié successivement sur chaque eau des doses décroissantes d'anticalcaire. Lorsque les doses dépassent légèrement la quantité nécessaire au point de vue chimique, la stérilisation est *parfaite;* lorsqu'on en met de moindres proportions, on constate qu'une dose d'anticalcaire insuffisante pour tuer *tous* les microbes, produit néanmoins un effet utile en diminuant sensiblement le nombre des colonies et en apportant à leur développement un retard manifeste.

Les microbes sont-ils *tués* ou, comme dit Burlureaux, simplement *stupéfiés*, c'est-à-dire inertes pendant quelques jours, six jours au moins? Les deux cas se sont présentés, le second plus souvent que le premier; la connaissance de ce fait est très

importante au point de vue pratique : il faudra filtrer l'eau le plus tôt possible, par exemple 24 heures après le traitement à l'anticalcaire. D'un autre côté, il ne faut pas filtrer immédiatement, il faut laisser les réactions se parfaire, car nous allons voir que la mort ou la stupéfaction des microbes sont corrélatives des actions chimiques concomitantes ; dans certains cas, la stérilisation a été obtenue au bout de huit heures seulement.

L'auteur a fait un grand nombre d'expériences destinées à éclairer le mécanisme de la stérilisation par les anticalcaires. Il a étudié successivement l'action sur l'eau de l'alun seul, du carbonate de soude seul, de la chaux seule, puis du mélange des trois corps précédents.

Avec l'alun, il faut des doses considérables, par exemple 1gr20, tandis que la proportion qui entre dans la dose d'anticalcaire, nécessaire pour obtenir le même résultat est seulement de 25 centigrammes.

Le carbonate de soude est aussi un microbicide, mais comme l'alun, à des doses trop élevées.

Reste la chaux, dont l'action antiseptique a été démontrée par Liborius ; plus tard Kitasato et Pfühl, Richard et Chantemesse ont étudié son action sur les selles typhiques et dysentériques. Mais dans toutes ces expériences, la dose employée était considérable, 4 grammes par litre. Burlureaux a, comme pour les deux sels précédents, étudié des doses décroissantes de chaux sur de l'eau contaminée artificiellement, et il conclut que la chaux seule ne peut être recommandée pour les eaux destinées à la

boisson, car, ou bien elle rend l'eau impotable, ou bien elle ne la stérilise pas.

En résumé, aucun des sels ajoutés isolément à l'eau n'arrive à la stériliser à des doses convenables au point de vue chimique, tandis que le mélange des trois substances produit un bon résultat. On pourrait penser que c'est l'alcalinité de l'eau qui est le facteur important : une série d'expériences a démontré qu'il n'en était rien ; dans certains cas, l'eau est alcalinisée et non stérilisée ; dans d'autre cas, c'est le contraire, elle est stérilisée avant d'être devenue alcaline.

Si ce n'est pas l'alcalinité qui tue les microbes de l'eau traitée, qu'est-ce donc, se demande l'auteur ? S'agirait-il d'un simple collage, et les microbes seraient-ils entraînés mécaniquement par les innombrables et imperceptibles grains de corps insolubles qui résultent des réactions multiples qui se passent au sein de l'eau ? On sait, en effet, que par le dépôt qui se produit au sein d'un liquide en repos, les microbes sont entraînés au fond, ainsi qu'il résulte des constatations de Fol et Dunant sur l'eau du lac de Genève ; si, par exemple, on ajoute du talc en poudre, les microbes sont entraînés au fond du vase et d'autant mieux que le dépôt se fait plus facilement.

Mais il y a autre chose qu'un phénomène physique ; si les microbes n'étaient qu'entraînés mécaniquement, on les trouverait vivants dans le précipité ou dans le liquide après agitation ; or, dans toutes les expériences la stérilisation était complète

après comme avant l'agitation, et dans les expériences à stérilisation incomplète, le nombre des colonies n'était pas plus considérable après agitation qu'avant; il n'était pas plus considérable dans les couches inférieures du liquide que dans les couches supérieures ou moyennes.

Burlureaux donne un autre argument tiré de la réapparition de la vie microbienne après huit et quinze jours sans qu'on ait agité le flacon et sans qu'on l'ait ouvert, et pense qu'il n'y a pas de raisons pour que les microbes abandonnent les grains pulvérulents qui les ont entraînés pour venir à nouveau nager dans le liquide clarifié; s'ils réapparaissent, dit-il, c'est qu'ils n'étaient que stupéfiés. Peut-être pourrait-on donner de ce fait une autre explication et dire que, si tous les microbes adultes sont tués, leurs spores plus résistantes n'ont pas été atteintes, et que ce sont celles-ci qui, germant peu à peu, donnent naissance aux microbes qu'on trouve plus tard dans la liqueur limpide. Mais, dira-t-on, pourquoi ces spores ne donnent-elles pas des colonies lorsqu'on ensemence quelques gouttes du liquide quelques heures après l'action des réactifs ? C'est qu'à ce moment leur nombre en est trop faible, et qu'il leur faut un certain temps pour qu'elles se dégagent du corps des microbes qui les contiennent ; lorsque, grâce à ces deux phénomènes, il y en a dans toutes les parties du liquide, celui-ci donne alors des colonies dans les milieux où on l'ensemence.

Il n'en résulte pas moins ce fait important que

les microbes sont tués pour la plupart, et je suis conduit à croire, comme Burlureaux, que ce sont bien les actions chimiques qui prennent naissance dans l'eau à partir du moment où l'on ajoute les réactifs, qui doivent stupéfier ou tuer les microbes. Plus ces réactions sont multiples, plus elles portent sur de fortes proportions de matières. plus la stérilisation est assurée. En effet, dans l'eau distillée, artificiellement polluée, l'addition d'eau de chaux tue difficilement les microbes, alors que dans l'eau de Vanne la même quantité de chaux les tue sûrement ; de même, l'anticalcaire agit mieux sur une eau très calcaire comme l'eau de Saint-Denis que sur l'eau de Vanne, et même sur celle-ci que sur l'eau de Seine, c'est-à-dire d'autant mieux que l'eau à purifier est plus riche en chaux.

Burlureaux se demande pourquoi, les actions chimiques étant instantanées, la mort des microbes ne l'est pas aussi, puisque ceux-ci n'apparaissent plus dans les cultures que si on fait les prélèvements au moins six heures après l'addition du réactif. Et il répond que les réactions chimiques ne sont pas si instantanées qu'on le croit. Mais cela est absolument évident; quand on a affaire à des réactions aussi complexes que celles qui se passent lorsqu'on mélange plusieurs sels en présence de l'eau, les réactions ne sont pas instantanées; les chimistes, depuis Malaguti jusqu'à Berthelot et Ditte, pour ne citer que des noms de chimistes français, ont accumulé un grand nombre de travaux pour étudier ces sortes de réactions, et il en résulte ce

fait bien établi que l'équilibre définitif n'est atteint qu'un certain temps, quelquefois très long, après le commencement de l'expérience, même quand tous les sels restent en dissolution, a fortiori lorsqu'il y a à la fois des corps en dissolution et des précipités. Il y a plus, l'équilibre définitif, au sens strict du mot, n'est jamais atteint, car il varie avec les changements de température, avec les mouvements même très faibles qui se passent dans le liquide, etc. Quoi d'étonnant alors que les microbes, dont la vie est parfois si précaire, soient influencés défavorablement par ces changements lents, mais continuels, du milieu où ils vivent ; on s'expliquerait bien ainsi la stupéfaction dont parle Burlureaux au moment où leur milieu vient à changer brusquement de nature, quand on ajoute l'anti-calcaire.

En résumé, les expériences que je viens d'analyser sont très intéressantes parce qu'elles démontrent scientifiquement que les réactions chimiques qu'on provoque au sein de l'eau, agissent sur les microbes que celle-ci renferme ; ces microbes sont tués pour la plupart, et ceux qui ont résisté sont, au moins pendant un certain temps, mis dans un état de malaise tel qu'ils sont incapables de pulluler même dans un milieu nutritif convenable ; d'où cette conclusion pratique importante que si on décante, ou mieux si on filtre le liquide surnageant les précipités, l'eau ainsi obtenue sera à peu près privée de microbes.

Mais, au point de vue pratique, le procédé de

purification de l'eau par les anti calcaires est-il à recommander ? Il y a deux grosses objections à y faire. D'abord, comme on opère par à peu près, on se heurte à ces deux écueils, ou bien la purification est incomplète, ou bien on a ajouté un excès de réactif, et alors on a introduit dans l'eau des substances qui ne devaient pas s'y trouver. Cette première objection tombe si on opère industriellement parce qu'alors on n'ajoute que les réactifs nécessaires pour une eau déterminée, et que juste en proportion convenable. Mais la seconde, qui a moins de fondement scientifique, je le veux bien, est la plus importante au point de vue des applications pratiques. Comment faire accepter au public une eau qui aura subi un certain nombre de réactions chimiques ? Il y aura toujours contre cette eau une méfiance qu'il sera bien difficile de vaincre. On fera accepter plus facilement une eau de source moins pure qu'une eau meilleure mais purifiée trop chimiquement.

Aussi, chaque fois qu'on voudra employer un procédé chimique, ne devra-t-on mettre en œuvre qu'un seul réactif, et un réactif connu du public pour sa simplicité et son innocuité, comme la chaux dans les eaux d'alimentation de la ville de Southampton, ou le fer dans le procédé Anderson, car personne n'a de prévention contre le fer par exemple.

Est-ce à dire qu'il faut repousser d'une façon absolue les procédés plus complexes comme ceux qui sont fondés sur l'emploi des anti calcaires ? Il y a des cas où ces réactifs rendront de véritables services, à cause de leur peu de volume, de la

facilité de leur mode d'emploi et de leur action favorable sur les eaux tout à fait impropres à la boisson. Les explorateurs, les soldats des colonies, les colons à demeure eux-mêmes, qui n'ont souvent pas le choix de l'eau à consommer, se trouveront bien de posséder une poudre se conservant bien qui, non seulement stérilisera leur eau, mais aussi en modifiera avantageusement la composition chimique ; je dis qui ne stérilisera pas seulement, car il ne manque pas aujourd'hui de filtres portatifs qui permettent d'arrêter toutes les matières en suspension dans l'eau, et par toutes j'entends aussi les microbes ; mais ces filtres-là sont souvent insuffisants, en présence d'une eau très calcaire ou très séléniteuse par exemple ; l'eau ne contiendra plus de microbes, mais sa composition chimique l'empêchera néanmoins d'être potable.

Nous passons maintenant à l'étude des substances destinées à épurer une eau de composition chimique ordinaire, comme l'eau de rivière. Les principales substances sont le fer et ses composés, le permanganate de potasse, l'acide citrique, le charbon, etc.

Procédés basés sur l'emploi du fer.

La forme la plus simple, et disons-le de suite, la meilleure est le fer métallique ; j'ai décrit en détail le procédé Anderson qui est basé sur son emploi, j'ai essayé d'indiquer les réactions qui se passent et le mécanisme de l'épuration de l'eau ; nous avons vu

aussi qu'on avait essayé successivement le fer spongieux, la fonte et le fer proprement dit sous leurs différentes formes, et que les expériences aujourd'hui fort nombreuses, par suite de l'application en grand du procédé Anderson, avaient appris à quelles formes il convenait le mieux de s'adresser.

Quant à l'action du fer métallique sur les eaux, elle a fait l'objet de nombreux mémoires ; rappelons seulement les expériences les plus récentes, celles de Bishof, de Frankland, de Babès, etc., qui se sont placés surtout au point de vue bactériologique et qui tous ont trouvé que les microbes étaient détruits grâce aux réactions chimiques multiples qui se passent dans l'eau ferrée.

Mais outre l'emploi du fer métallique, on a conseillé quelques composés du fer, tels que l'oxyde de fer magnétique employé avec grand succès depuis plus de 20 ans par Spencer, particulièrement pour la purification des eaux du Calder, à Wakefield, mais principalement le perchlorure de fer, ou pour être plus exact, le sesquioxyde de fer hydraté.

En effet, tous les procédés se ramènent à ajouter dans l'eau à purifier un peu de perchlorure de fer, et ensuite soit une solution de carbonate de soude (Dobroslavine), soit de l'eau de chaux (Watts). Dans les deux cas, il se forme du sesquioxyde de fer hydraté qui, outre son action chimique oxydante sur les matières organiques, produit une sorte de collage sur les matières en suspension et les entraîne au fond du récipient contenant l'eau. En admettant les excellents résultats annoncés par

les auteurs, on se demande pourquoi ceux-ci n'emploient pas de préférence un sel ferreux, qui donnerait lui aussi comme réaction finale du sesquioxyde de fer hydraté, ou un composé analogue à l'éthiops martial des anciennes pharmacopées, mais qui aurait en plus l'avantage d'une action beaucoup plus profonde sur les matières organiques, par suite de sa transformation de sel ferreux en sel ferrique sous l'influence de l'oxygène de l'air. C'est précisément là une des raisons de l'action si efficace du fer métallique en présence de l'air ; nous avons vu d'autre part, à propos des expériences de Burlureaux, que la complexité des réactions chimiques n'est pas sans influence sur la destruction des microbes.

Emploi de l'alun.

A la suite de l'action du sesquioxyde de fer, je crois bon de signaler l'emploi de l'alumine formée au sein même de l'eau dans les mêmes conditions précisément que le sesquioxyde de fer, c'est-à-dire l'addition à l'eau à purifier d'alun et de carbonate de soude ou d'eau de chaux. Différents expérimentateurs ont constaté que, dans ces conditions, l'alumine gélatineuse entraînait les microbes dans le précipité qui se formait ; mais l'action semble moins énergique qu'avec le sesquioxyde de fer.

Quant à l'addition d'alun à l'eau, sans précipitation de l'alumine par le carbonate de soude, préconisée par Babès, il semble résulter des expériences

récentes de Max Teich qu'elle n'a aucune action sur les microbes contenus dans cette eau; l'auteur a employé des doses d'alun de 0 gr 15 à 0 gr 30 par litre soit sur l'eau de la distribution à Vienne, soit sur celle du Danube, naturelle ou ensemencée, après distillation et stérilisation, de vibrions cholériques ou de bacilles typhiques. L'échec a été complet : Voici les conclusions de l'auteur :

1° Le procédé de Babès, en ce qui concerne les modifications chimiques de l'eau, ne présente pas d'inconvénient sanitaire ; 2° il ne donne qu'exceptionnellement de l'eau pure de germes ; 3° la diminution du nombre des germes ne dure qu'un temps assez court ; les saprophytes se multiplient ensuite; 4° les bacilles typhiques ne souffrent pas du traitement par l'alun et ne sauraient par ce moyen être sûrement séparés de l'eau en totalité ; 5° les vibrions du choléra sont, par ce procédé, non seulement précipités de l'eau, mais encore tués ; toutefois, ce résultat n'arrive que lentement ; la précipitation et la destruction de ces microbes ne sont pas encore sûrement terminées au bout de 24 heures.

Enfin nous avons vu aussi que Burlureaux n'avait pas obtenu non plus de bons résultats avec l'alun seul, à moins d'employer de fortes doses.

Procédés au permanganate de potasse.

On connaît l'action oxydante du permanganate sur les matières organiques ; elle constitue précisément la base des procédés employés par les chimistes

pour doser dans l'eau ces matières organiques. On pouvait donc penser que ce sel constituerait un excellent microbicide, puisque les microbes ne sont guère autre chose que de la matière organique vivante. Et, en effet, ce sel a été employé et est encore employé en médecine, et surtout en gynécologie, comme antiseptique; il n'a contre lui, pour cet usage, que la coloration brunâtre qu'il laisse sur les tissus.

On n'a donc pas été longtemps sans songer à son emploi pour la purification des eaux potables, d'autant plus qu'il est facile à éliminer en totalité après son action sur les microbes, et que d'ailleurs, en dissolution étendue, son ingestion ne présente pas le plus petit danger. La preuve en a été donnée sur une grande échelle par Lereboullet, agrégé au Val-de-Grâce, qui s'en est servi avec avantage pendant la Campagne de France en 1870-1871 (on voit que son emploi comme purificateur des eaux ne date pas d'aujourd'hui). Il ajoutait une certaine quantité de permanganate à l'eau qui servait de boisson aux hommes de son régiment; les soldats se sont soumis de bonne grâce à cette expérience, séduits qu'ils étaient par la magnifique coloration donnée, par l'addition de ce sel, à l'eau qu'ils buvaient.

Il est bien évident qu'à cette époque, il n'était pas question de détruire les microbes, mais seulement la matière organique de l'eau; c'est ce qu'on faisait pourtant sans le savoir, car nous nous rendons compte aujourd'hui que ce n'était pas la petite quantité de matière organique oxydée qui constituait le

danger de l'eau impure, je dis la petite quantité, car on n'ajoutait qu une faible proportion de permanganate et on opérait à froid.

Le permangate agit, en effet, sur les eaux en oxydant la matière organique qui est décomposée en eau et en acide carbonique, par conséquent en détruisant totalement les microbes; tandis que la partie correspondante de permanganate est transformée en bioxyde ou en oxyde salin de manganèse insoluble qui se dépose. Mais pour purifier sûrement une eau il faut ajouter un excès de permanganate, et enlever ensuite cet excès au moyen d'une matière organique inerte ou inoffensive, et c'est peut être le seul réactif chimique proposé pour la purification des eaux dont il soit possible d'enlever en totalité l'excès d'une façon certaine et très simple.

C'est ainsi que Chicandard a proposé l'addition de poudres végétales (écorce de chêne, quinquina, kola, café, réglisse, etc., ou bien la filtration sur du charbon) et Mlle Schipiloff, plus récemment, du sucre, de l'eau-de-vie.

On peut dire qu'il n'y a pas de procédé chimique plus efficace que le procédé au permanganate, puisqu'on brûle non seulement les microbes, mais aussi les matières organiques, et cependant je répéterai ce que j'ai dit au sujet du procédé Burlureaux, qu'il me semble bien difficile de faire accepter du public l'usage d'une eau purifiée par des réactions chimiques. D'ailleurs, l'emploi du permanganate comme procédé industriel, c'est-à-dire pour de grands volumes, serait trop onéreux. Il est bon à

retenir cependant, parce que, comme les anticalcaires et dans des conditions analogues, il peut rendre de grands services, lorsqu'on n'a à sa disposition qu'une eau très impure, qu'une eau très chargée de matières organiques et de microbes, comme les eaux croupissantes de certaines mares.

Emploi de l'acide citrique.

On sait que la plupart des microbes végètent ou même périssent dans un milieu acide, et c'est là un fait classique que les bouillons de culture doivent être neutres ou très légèrement alcalins. On connaît le mode de préparation de l'acide lactique dans lequel la culture du vibrion lactique est faite en présence du carbonate de chaux ; je citerai aussi l'observation récente faite par les docteurs Wurtz et Mosny qui ont montré que la mort si rapide du pneumocoque dans ses milieux de culture était dû à la formation de l'acide formique, et que si on opérait en présence du carbonate de chaux saturant l'acide au fur et à mesure de sa production, la durée de la vie du pneumocoque était notablement augmentée.

Comme d'autre part Koch avait fait voir la destruction du bacille du choléra dans les dilutions très étendues d'acide chlorhydrique et dans le suc gastrique, le docteur Christmas a eu l'idée de recommander l'addition d'acide citrique à l'eau, surtout pendant les épidémies de choléra. Il avait constaté en effet, qu'une goutte de culture de germe cholé-

riques, au bout de 15 minutes de contact avec une solution d'acide citrique à 6 ou 8 pour 10.000, était incapable d'ensemencer un milieu de culture; le même effet est obtenu avec le bacille typhique.

Il a donc conseillé de mêler chaque jour 10 grammes d'acide citrique à chaque seau d'eau qui sert aux soins de la toilette, de la cuisine, pour laver les légumes, pour tous les soins du ménage et même pour les boissons.

On s'expliquerait ainsi le succès dû au jus de citron dans le traitement du scorbut, de la fièvre jaune, et d'autres maladies infectieuses. L'acide lactique a été aussi recommandé dans ces dernières années contre la diarrhée verte des enfants.

Emploi du charbon.

Le charbon est peut-être la substance qui a été le plus souvent employée à cause de la propriété qu'elle possède de fixer un grand nombre de substances salines, colorantes, gazeuses, etc. J'ai déjà rappelé son utilisation dans l'industrie du sucre, et nous allons voir qu'un grand nombre de filtres anciens et actuels sont basés sur son emploi. Le charbon n'agit pas par une véritable réaction chimique sur les eaux, mais il produit une sorte de fixation d'un grand nombre de matières, analogue aux phénomènes qui se passent dans la teinture, ainsi que je l'ai dit plus haut. Que le charbon sous toutes ses formes, purifie l'eau, cela est de notoriété

publique. Voici par exemple les conclusions d'un travail du docteur de Chaumont :

« 1° Le charbon animal, en petits fragments, constitue le filtre le meilleur et le plus pratique, un contact de 4 minutes est suffisant pour purifier l'eau. Il faut fréquemment régénérer le charbon en le brûlant ; le lavage à l'eau distillée et au permanganate est aussi très utile et doit avoir lieu très souvent. Si on laisse l'eau filtrée en contact prolongé avec le filtre de charbon, elle se charge de matières organiques et peut même devenir infecte ; de même l'eau filtrée sur le charbon, ne contenant plus aucune trace de matière organique, et d'emblée mise à part, se charge au bout de peu de temps et de plus en plus de matière organique ; celle-ci vient ou de germes microscopiques que le filtre a laissé passer, ou bien de germes atmosphériques dont les phosphates contenus dans le charbon animal ont favorisé le développement ;

« 2° Les blocs poreux de charbon de diverses formes ne valent pas mieux que les fragments de charbon ; ils perdent même plus vite leur activité. »

Je rappellerai aussi les expériences de P. Frankland citées plus haut, qui attribuaient au coke une réelle supériorité sur les autres variétés de charbon, mais qui plaçaient le charbon en tête des substances capables de priver l'eau de ses microbes.

On vient de voir la raison principale qui empêche le charbon de donner de bons résultats, c'est que, grâce aux phosphates qu'il renferme, il transforme l'eau filtrée en un milieu de culture très favorable

pour les microbes; aussi la plupart des constructeurs actuels de filtres dans lesquels doit entrer le charbon, indiquent-ils l'emploi d'un charbon préalablement lavé à l'acide chlorhydrique, c'est-à-dire débarrassé de ses phosphates. Ce premier inconvénient peut donc être supprimé, avec une préparation convenable. Mais il reste l'épuisement rapide du charbon qui, comme on le sait, se sature assez vite des substances qu'il retient, témoin les revivifications nombreuses qu'on fait subir au noir animal dans les fabriques de sucre. On ne peut songer à ce procédé industriel, lorsqu'il s'agit de filtres; le plus simple est donc de renouveler le charbon de temps en temps, nécessité qui s'impose d'ailleurs pour la plupart des ingrédients entrant dans la composition d'un filtre. Or, le sentiment de l'économie y poussant, on attend presque toujours trop longtemps pour faire ce renouvellement. Il faudrait donc pouvoir trouver une forme de charbon ne perdant pas trop vite ses propriétés désinfectantes, et se nettoyant facilement sur place.

II. — Filtres domestiques.

On désigne sous le nom de *Filtres domestiqu*
les appareils d'épuration des eaux qui peuvent êt
installés à l'intérieur des habitations. Ils devront
plus souvent occuper un petit volume de façon
en permettre l'installation partout; ce qui n'emp

chera pas dans certains cas particuliers, pour les hôtels, les pensions, les casernes, etc., où beaucoup de personnes se trouvent réunies dans le même local, de leur faire rendre un grand débit, soit, si le modèle est unique, en accumulant un grand nombre d'éléments, soit en en augmentant les dimensions.

Quelle que soit la qualité de l'eau distribuée dans une ville, qu'elle provienne d'une source pure ou qu'elle ait été au préalable convenablement purifiée, il sera toujours désirable que cette eau subisse une filtration parfaite au domicile du consommateur. S'il ne s'agissait, comme autrefois, que de prendre en considération la composition chimique de l'eau pour la regarder comme potable, il est bien évident que les filtres à domicile deviendraient inutiles, du moment que l'eau distribuée ne contiendrait pas ou aurait été débarrassée des matières nuisibles comme les matières organiques, les nitrates et les nitrites qui en sont la trace, les sels minéraux en excès, l'argile, et enfin les matières en suspension qui rendent l'eau trouble. Mais aujourd'hui où la pureté biologique de l'eau occupe le premier plan, et, dans l'incertitude où l'on est sur la nature des microbes, il est bon de ne consommer qu'une eau privée de tout microbe. Or, il est pratiquement impossible d'obtenir en grand une eau ne contenant pas un seul microbe; et d'ailleurs, en supposant ce résultat obtenu à la prise d'eau ou dans l'usine d'épuration, est-ce que l'on pourrait préserver *à coup sûr* cette eau de toute souillure ultérieure ?

Comment faire pour empêcher des fissures dans

les tuyaux de conduite, et comment préserver les réservoirs, les pompes d'alimentation, etc., du contact de tout microbe? Et pendant les réparations dans les différentes parties de tout cet organisme de distribution et d'aménagement des eaux?

Je ne voudrais pas laisser croire que j'attache une importance exagérée à l'introduction dans l'eau, primitivement pure ou épurée convenablement, de microbes vulgaires, comme le sont la plupart de ceux qui existent dans l'air et même dans la terre; je m'en suis déjà expliqué dans le commencement de ce travail. Cependant, il ne faut pas nier que, dans certains cas, cette contamination ultérieure ne puisse présenter un certain danger. Supposons, par exemple, que le tuyau d'amenée d'une eau de source, plongé dans la terre sur presque tout son parcours, vienne à se fissurer dans le voisinage d'une ferme ou d'un groupe d'habitations où la fièvre typhoïde aura fait quelques victimes, et que les déjections de ces typhiques aient été jetées au fumier sans aucune précaution, comme ce sera le cas pendant bien longtemps encore (1). Est-ce que les bacilles d'Eberth ainsi introduits dans l'eau distribuée, sans que rien puisse signaler leur présence, ne seront pas capables de constituer un foyer épidémique?

Une question subsidiaire vient se poser qui préoc-

(1) L'épidémie actuelle de fièvre typhoïde semble confirmer malheureusement mon hypothèse, si ce que plusieurs journaux ont rapporté est vrai, que la souillure de l'eau de source distribuée à Paris devrait être attribuée au déversement de matières fécales en un endroit placé au voisinage de ces sources.

cupe les hygiénistes et les ingénieurs, mais en sens inverse. La présence de quelques microbes, même pathogènes, dans une grande masse d'eau est-elle capable de provoquer la maladie qui est sous leur dépendance ? Les ingénieurs, qui se préoccupent surtout des difficultés matérielles que présente l'aménagement de grands volumes d'eau potable, ont de la tendance à ne pas croire au danger, d'autant plus que la plupart des microbes pathogènes périssent dans une grande quantité d'eau pure qui constitue pour eux un mauvais milieu de culture.

Les hygiénistes, au contraire, répondent que, s'il semble bien prouvé aujourd'hui que l'éclosion d'une maladie contagieuse est sous la dépendance nécessaire d'un microbe, il n'en est pas moins vrai que le terrain sur lequel il tombe a la plus grande importance et, par conséquent, il est fort possible qu'un très petit nombre d'individus d'un microbe pathogène qui, ingérés par la plupart des hommes, ne développeraient pas de maladie, ne fasse éclater celle-ci si le terrain leur est particulièrement convenable, c'est-à-dire si l'individu envahi présente, comme on disait autrefois, des prédispositions convenables. D'autre part, et les travaux les plus récents semblent de plus en plus accréditer cette opinion, des microbes réputés comme inoffensifs ne seraient que les formes intérimaires de microbes pathogènes et qui n'attendraient que des conditions favorables pour récupérer leur activité. C'est ainsi qu'on a décrit plusieurs espèces de bacilles-virgules dont les unes seraient tout à fait

inoffensives, dont quelques autres causeraient une cholérine non mortelle, et enfin dont d'autres produiraient le choléra asiatique foudroyant. Certains travaux tendent à établir qu'il s'agirait d'une seule et même espèce, mais que le bacille le plus virulent perdrait peu à peu sa virulence lorsqu'il séjournerait dans certains milieux, dans l'eau pure, par exemple, et surtout donnerait naissance à des générations de moins en moins actives. D'autre part, ces bacilles inoffensifs seraient capables, étant placés dans des milieux convenables, de reproduire des générations de plus en plus actives.

Faut-il rappeler aussi les discussions, non closes encore, sur les bacilles d'Eberth et d'Escherich, que les uns considèrent comme de simples variétés d'une même espèce, et que les autres, le plus grand nombre il est vrai, regardent comme deux espèces parfaitement distinctes, dont l'une est éminemment pathogène, causant la fièvre typhoïde, tandis que l'autre en est incapable. En supposant comme parfaitement établie la différence d'action de ces deux microbes, combien il est difficile, malgré les travaux les plus récents, de les distinguer l'un de l'autre dans leurs bouillons de culture, et à fortiori dans l'eau !

Pour toutes ces raisons, les hygiénistes recommandent de ne consommer que de l'eau privée de tout microbe. Or, comme l'épuration centrale est incapable de produire ce résultat, il en résulte la nécessité de posséder un bon filtre qui soit capable de retenir les microbes qui ont échappé à l'épura-

tion centrale, qui se sont introduits ultérieurement dans l'eau ou qui s'y sont multipliés.

Afin de donner une idée d'ensemble de la question des filtres domestiques et de montrer par quelles phases ont passé les progrès accomplis sous l'influence des idées nouvelles, je décrirai les principaux types de filtres représentant les étapes successives de la filtration à domicile.

Tous les peuples ont fait usage, pour purifier l'eau, de vases de terre poreux dans lesquels l'eau se clarifie en les traversant; les Egyptiens employaient ce procédé, et encore de nos jours, certains peuples, les Japonais, par exemple, agissent ainsi; mais nous-mêmes ne sommes-nous pas revenus, dans nos filtres les meilleurs, à cet antique procédé, avec nos filtres en porcelaine.

En France, au milieu du xviiie siècle, la fragilité des fontaines filtrantes en terre donna l'idée de les remplacer par des vases de cuivre étamé, contenant une couche de sable. On fit également usage de fontaines de bois, revêtues intérieurement de lames de plomb et contenant une couche de sable fin.

Fontaine filtrante Amy (1745).

En 1745, un fabricant, nommé Amy, présenta à l'Académie des sciences de Paris, une fontaine en bois ou en terre cuite dans laquelle la matière filtrante était constituée par un lit d'éponges, de coton, etc., et par un lit de sable.

5...

Amy donnait à ses fontaines différentes dispositions, se servant d'abord de coffres de bois revêtus entièrement de lames de plomb, et divisés en compartiments dans lesquels l'eau passait successivement à travers du sable et des éponges. Il construisit ensuite des fontaines en terre, en verre, en grès, qu'il garnissait de différentes matières filtrantes.

Réaumur écrivait le 29 juillet 1749 : « J'ai eu plusieurs de ces fontaines, dont chacune avait été garnie par l'inventeur lui-même d'un filtre différent, les unes d'éponges, les autres de coton, les autres de laine, les autres de soie, et les autres de sable ; elles ont toutes donné constamment une eau très claire et très limpide. »

Filtre Peacock (1791).

En 1791, James Peacock, en Angleterre, prit un brevet d'invention pour un appareil à filtrer par *descente et ascension* de l'eau à travers le sable et le gravier.

Cet appareil se composait d'un grand réservoir d'eau placé à une hauteur convenable et d'une caisse fermée placée au dessous et remplie de gravier cu de sable lavé, et plus tard d'un mélange de charbon et de carbonate de chaux pour désinfecter l'eau.

L'eau contenue dans le grand réservoir supérieur descendait, au moyen d'un tuyau, dans le fond de la caisse inférieure. Elle filtrait par *ascension* à tra-

vers le gravier ou le charbon, et sortait en *descendant* par un tuyau fixé à la partie supérieure de la caisse. Pour nettoyer ce filtre, il fallait y faire passer un courant d'eau intense au moyen d'une pompe.

Fontaines de pierres filtrantes (1800),

Duchesne, dans son *Dictionnaire de l'industrie*, publié en 1800, après avoir signalé les inconvénients du plomb et du sable, dit que c'est pour y remédier qu'on a imaginé des fontaines de pierres filtrantes. « Ces fontaines sont de pierres de liais, rondes ou carrées, jointes ensemble par un mastic impénétrable à l'eau. Au lieu de sable ou d'éponges, on construit intérieurement, au fond de la fontaine, une petite chambre bien mastiquée avec trois à quatre pierres de 27 millimètres d'épaisseur, dressées de champ, pouvant contenir à peu près deux ou trois pintes d'eau. Ces pierres filtrantes viennent de Picardie ; on leur donne le nom de *vergier*. C'est en passant à travers ces pierres que l'eau versée dans la fontaine filtre et s'épure, et de sale et bourbeuse qu'elle était, elle en sort claire et limpide par un robinet qui pénètre dans la chambre fermée, dans laquelle entre un tuyau mastiqué qui, venant aboutir au haut de la fontaine, sert à donner de l'air à l'intérieur de la chambre ou réservoir et facilite l'écoulement de l'eau. A peu près tous les trois mois, et lorsque les pores de la pierre filtrante sont bouchés par la bourbe et les saletés

de l'eau, on ratisse la pierre avec un racloir et on la lave. C'est afin que la première qui recouvre la petite chambre s'encroûte moins, qu'elle est posée en forme de toit. »

Qui ne reconnaît là la fontaine classique répandue partout jusque dans ces dernières années, et dont il se vend encore aujourd'hui des quantités considérables, après un siècle d'existence? Cette fontaine, après tout, est très bien construite. Si la pierre filtrante est de très bonne qualité, c'est-à-dire d'un grain bien serré, si on la nettoie fréquemment, si enfin on garnit le petit tube à air d'un peu de ouate afin d'empêcher les microbes de l'air de pénétrer dans le réservoir d'eau filtrée en même temps que l'air aspiré pendant l'écoulement de l'eau par le robinet inférieur, on possédera un filtre pouvant rivaliser avec un grand nombre de filtres beaucoup plus compliqués et prônés à grand fracas dans ces dernières années.

Filtre inaltérable tiré des trois règnes de la nature (1800-1806).

C'est sous ce vocable que Smith, Cuchet et Montfort désignaient un appareil filtrant s'inspirant des filtres Amy et Peacock et renfermant à la fois du sable, du charbon et de l'éponge.

En 1806, ces trois industriels construisirent en grand leurs filtres et fondèrent, au quai des Célestins, à Paris, le premier établissement pour la filtration de l'eau de Seine. On filtrait l'eau du fleuve

dans de petites caisses prismatiques doublées de plomb et contenant à leur partie inférieure une couche de charbon comprise entre deux couches de sable, puis une couche d'éponges placée à la partie supérieure.

L'eau traverse ces quatre couches de haut en bas après quoi, elle retombe en pluie dans un réservoir inférieur, de manière à reprendre l'air dont elle s'est dépouillée pendant ces diverses filtrations. Elle s'échappe alors par un robinet placé en bas du réservoir.

Chaque mètre superficiel de filtre ne donnait que 3.000 litres d'eau filtrée par 24 heures. En outre, quand les eaux étaient très chargées de limon, il était indispensable de renouveler tous les jours les matières filtrantes contenues dane la caisse.

Filtre Ducommun (1814).

Voici la composition de ce filtre qui a eu une certaine vogue et qui se vendait encore à Paris, il y a quelques années, telle qu'elle se trouve dans le brevet pris par l'inventeur.

1° Un fond solide, percé de trous, et destiné à porter le filtre;

2° Une couche de gros sable qui ne puisse passer à travers les trous;

3° Une seconde couche de sable moyen, qui ne puisse passer entre les grains de la couche précédente;

4° Une troisième couche de sable fin ou de grès

pilé, qui ne puisse également passer entre les grains de sable moyen ;

5° Une couche de charbon concassé. S'il est fin il suffit de lui donner 5 à 6 millimètres d'épaisseur, dans ce cas, le filtre est propre aux eaux de rivière, qui sont peu infectes et qui n'ont besoin que d'être peu clarifiées ; s'il est gros, l'épaisseur de la couche peut aller jusqu'à 30 centimètres, ce qui convient pour les grandes filtrations et pour celles où l'on doit épurer les eaux infectes et corrompues ;

6° Une couche de grès ou de sable fin, comme la troisième, surmontant le charbon pour le retenir et l'empêcher de s'élever ;

7° Une couche de sable plus gros que le précédent ;

8° Une couche de gros sable, comme celui du fond ;

9° Enfin, un plateau percé de trous, pour éviter que la chute de l'eau ne dérange les matières filtrantes.

Le modèle pour la filtration en petit chez les particuliers, tel qu'on le trouvait dans le commerce parisien, se composait d'un récipient, portant à la partie supérieure un diaphragme percé à son centre d'une large ouverture bouchée par une grosse éponge ; l'eau passait d'abord à travers cette éponge et arrivait dans le compartiment situé au dessous et renfermant un lit de sable et un lit de charbon. Le nettoyage n'avait besoin d'être fait qu'une fois par an, si on avait soin d'enlever fréquemment l'éponge, pour l'exprimer et la rincer.

Filtre ascendant Lelogé (1831).

C'est une fontaine divisée sur sa hauteur en quatre parties inégales. La partie supérieure est à elle seule à peu près égale en capacité aux trois autres; elle est destinée à recevoir l'eau à filtrer. Le fond de ce premier compartiment est une pierre non filtrante, à l'angle de laquelle se trouve un orifice communiquant par un tuyau vertical avec la partie inférieure, laquelle forme un premier réservoir de peu de hauteur. Dans ce premier réservoir l'eau se clarifie par le repos et laisse déposer des matières terreuses que l'on retire de temps en temps par un tampon mobile pratiqué à cet effet dans le fond de ce premier compartiment, qui est le fond de toute la fontaine. L'espace compris entre ce réservoir et les parties supérieures est divisé en deux autres réservoirs. Le réservoir inférieur est séparé du précédent par une pierre percée de trous, et il est de plus rempli de charbon, il est séparé du troisième par une pierre filtrante.

Par cette disposition, l'eau arrive dans le premier réservoir après y avoir opéré un premier dépôt. Par le poids de l'eau contenue dans la partie supérieure, elle est forcée de filtrer par ascension (d'où le nom du filtre), d'abord au travers du charbon que contient le deuxième réservoir, et ensuite au travers du filtre qui le sépare du troisième.

Ce filtre n'a pas eu grand succès à cause de sa complication sans doute.

Filtre H. Fonvielle (1835-1837).

L'appareil décrit dans le premier brevet (1835), était composé de couches superposées d'éponges, de cailloux, de zinc, de limaille de fer et de charbon. Sur ce filtre tombait, à ciel ouvert, un courant d'eau qui le traversait en descendant, et s'échappait, après la filtration, par un robinet

En 1836, H. Fonvielle, dans une addition à son brevet, substitua les hautes pressions et les filtres fermés, aux pressions basses et aux filtres ouverts.

Enfin, en 1837, il ajouta à ce brevet un système de nettoyage par l'action simultanée de plusieurs courants d'eau, l'eau pénétrant brusquement dans la masse du filtre, dans des directions et à des hauteurs diverses, remuait et entraînait les matières terreuses qni engorgeaient le filtre. On avait déjà eu l'idée de filtrer en vases clos, et même de nettoyer les filtres à l'aide d'un courant d'eau rapide passant en sens inverse de la direction suivie par l'eau en train de filtrer; ce qui caractérise le mode de nettoyage préconisé par H. Fonvielle et vivement recommandé par Arago, dans un rapport à l'Académie des sciences, c'est l'action de plusieurs courants d'eau agissant simultanément ou presque simultanément sur les matières filtrantes sans les bouleverser.

Ce filtre fut installé à l'Hôtel-Dieu, et adopté ensuite par divers établissements publics et particuliers, usines, maisons et châteaux.

Le filtre de l'Hôtel-Dieu, grâce à la pression de 1 1/16 atmosphère fournie par une pompe spéciale, donnait couramment 50.000 litres d'eau par 24 heures, avec moins d'un mètre de superficie; Arago dit qu'on aurait pu lui faire débiter 136.000 litres si on avait maintenu la pompe continuellement en charge.

Filtre Souchon (1839).

Cet industriel eût l'idée de substituer au charbon et aux éponges du filtre précédent la laine toutisse, objet alors sans valeur; cette laine d'ailleurs pouvait servir à nouveau après un lavage à l'eau courante.

Il construisit un filtre qui, après un rapport élogieux à l'Académie de médecine par Gaultier de Claubry et Bayard, fut installé aussi à l'Hôtel-Dieu, en regard du filtre de Fonvielle. Dans un article de la *Revue scientifique* de mars 1842, il est dit que « ce qui fait la supériorité des filtres à laine sur les filtres à charbon, c'est non seulement la qualité des eaux obtenues, la rapidité du filtrage, le bon marché, mais encore la rapidité et la facilité du nettoyage des filtres ».

Filtre Fonvielle-Souchon (1860).

Les deux industriels précédents fusionnèrent leurs appareils et leurs intérêts et prirent un brevet décrivant un système nouveau sous le nom sus-indiqué,

qui fut exploité par la Compagnie de filtrage des eaux de Paris, laquelle installa une batterie importante connue sous le nom de Fontaine marchande du marché Saint-Martin destinée surtout à alimenter les tonneaux des porteurs d'eau. Elle construisait aussi des fontaines domestiques employées dans presque tous les établissements de la ville de Paris. Ces fontaines étaient de forme légèrement conique, en fonte, et hermétiquement fermées afin de conserver la pression de la conduite d'eau de la ville qui venait se brancher sur un tuyau placé à la partie supérieure du filtre ; ce qui permettait ensuite à l'eau filtrée de gagner les étages supérieurs de la maison, le filtre étant installé dans la cave, de façon à conserver à l'eau sa fraîcheur.

L'intérieur de cette fontaine renfermait à la partie inférieure, au dessus du robinet d'eau filtrée, un faux fond percé de trous et au dessus de lui une série des matières filtrantes indiquées dans les paragraphes précédents disposées par couches horizontales.

Après la description sommaire des anciens filtres, c'est-à-dire des filtres conçus avant les théories microbiennes, je vais entreprendre celle des principaux filtres construits dans le but d'arrêter les bactéries de l'eau, et comme ces appareils sont très nombreux, il est nécessaire, afin de se reconnaître, d'indiquer une classification ; la plus rationnelle me semble être celle qui est basée sur la nature de la matière filtrante, car c'est celle-ci qui, aussi bien au

point de vue théorique qu'au point de vue pratique, imprime aux filtres leur caractère fondamental. Nous aurons ainsi : 1° Les filtres chimiques, c'est-à-dire ceux qui sont fondés sur l'emploi d'une substance réagissant sur la composition de l'eau, tels que les filtres Maignen, Johnson, Bishof, etc. ; 2° les filtres à amiante, de Breyer, du docteur Hesse, etc. ; 3° les filtres en porcelaine d'argile, dont le type est le filtre Chamberland ; 4° le filtre en terre d'infusoires de Berkefeld, et enfin, 5° le filtre en porcelaine d'amiante de Mallié.

Filtre Maignen.

Nous avons longuement étudié, à propos du procédé d'épuration des eaux, conseillé par Burlureaux, le principe du filtre Maignen qui est le type actuel le plus répandu du filtre chimique. Il nous suffira d'en donner la description :

Sur un cône en terre cuite A (*Fig.* 9), percé de trous qui doivent livrer passage à l'eau filtrée, et prolongé par deux cylindres de faible diamètre, on fixe un tissu spécial en amiante E. A sa surface on dispose uniformément une couche de la poudre spéciale dont nous avons donné les formules et que l'inventeur désigne sous le nom de *carbo-calcis*, parce qu'il ajoute du charbon à l'anticalcaire ; les particules en sont si ténues qu'il admet qu'une couche de 1 millimètre de cette matière, sur une surface de 1 décimètre carré, présente une surface filtrante d'environ deux millions de centimètres carrés. Par dessus cette poudre impalpable,

on place du carbo-calcis en grains, et tout cet ensemble est contenu dans un vase en grès F libre sur sa grande base par laquelle on verse l'eau à filtrer, et percé d'un trou sur sa petite base; c'est



Fig. 9. — Filtre Maignen.

par cet orifice que passe le cylindre inférieur du cône en terre cuite; le joint est fait à l'amiante, de façon à ce que l'eau filtrée ne puisse sortir directement du grand récipient, mais seulement par le tube du cône filtrant.

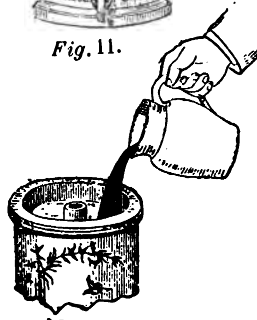
Un chapeau en grès B percé de trous est placé sur la surface de la poudre, de façon à répartir l'eau à purifier, d'une façon uniforme, dans toute la masse de la matière filtrante. L'air circule librement



Fig. 10.


Fig. 11.


Fig. 12.
Nettoyage du filtre Maignen.


Fig. 13.
Addition de la poudre carbo-calcis.

à l'intérieur du cône, où tombe l'eau filtrée, de façon à aérer convenablement celle-ci.

L'eau filtrée se réunit dans un réservoir qui contient tout le filtre et dont la forme est très variable ;

pour les usages domestiques, c'est un grand cylindre en faïence, plus ou moins décoré extérieurement et muni d'un robinet à la partie inférieure (*Fig.* 10 *et* 11).

Quant au fonctionnement du filtre, il est aisé à comprendre : L'eau traverse d'abord les interstices laissés entre les grains de carbo-calcis, et se dépouille des particules les plus grossières, puis arrive à la couche de poudre et à l'amiante sur lesquels s'opèrent la purification et la filtration.

Pour étendre d'une façon uniforme la couche de carbo-calcis en poudre, c'est-à-dire pour commencer le montage du filtre, on verse une certaine quantité de cette poudre dans un vase ; on agite aussi bien que possible et l'on jette sur le filtre cette eau noircie par la poudre de charbon (*Fig.* 13) ; l'eau passe à travers le tissu d'amiante et dépose une couche régulière de charbon sur toute la surface du cône filtrant. Cette opération donne un filtre homogène, ce qui a la plus grande importance, car, si sur une partie se trouvaient des pores plus grands que dans une autre, l'eau les traverserait de préférence, en entraînant avec elle les impuretés.

Toutes les parties de ce filtre étant distinctes l'une de l'autre, le nettoyage peut se faire avec la plus grande facilité (*Fig.* 12) ; on peut même porter au feu le tissu d'amiante et c'est cette facilité de nettoyage complet, jointe à l'imputrescibilité des matières employées, qui constitue les qualités les plus précieuses de cet appareil.

Diverses formes ont été données à cet appareil.

Pour économiser l'espace occupé, on lui donne souvent une section rectangulaire. On peut le munir d'un flotteur destiné à le remplir automatiquement.

L'armée anglaise l'a adopté pour la purification des eaux fournies aux troupes, surtout en Egypte. Le transport de certains filtres spéciaux, dits filtres à baquets, s'est fait à dos de mulet ou de chameau.

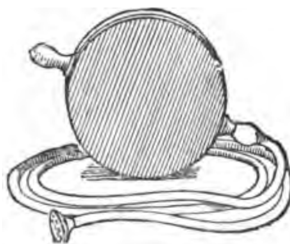


Fig. 14. — Filtre montre.

Il existe aussi des modèles de plus grandes dimensions, montés sur roues, pouvant filtrer de 2.000 à 4.000 litres par heure. Enfin, la réunion en batterie d'un certain nombre de ces grands modèles constitue la filtration industrielle.

En dehors de ces appareils permettant d'obtenir un grand volume d'eau filtrée, l'inventeur a construit de petits filtres de poche dits *filtres-montres* (*Fig.* 14), à cause de leur forme et de leur faible volume. Il se compose comme les précédents d'un petit chassis filtrant dont l'intérieur communique avec un ajutage que l'on prend entre ses lèvres ; un tube de caout-

chouc amène l'eau dans une boîte cylindrique à l'extérieur du châssis disposé identiquement comme pour le filtre de ménage. En aspirant par cet ajutage on fait monter l'eau dans l'appareil et la différence de pression donne un débit suffisant.

Quant aux résultats obtenus avec ce filtre je ne saurais faire mieux que citer les expériences auxquelles a assisté le docteur Vallin à l'Exposition d'hygiène de Londres de 1884. « Dans un filtre en plein fonctionnement, on verse environ 15 grammes d'acétate de plomb liquide ou de solution forte de sulfate de cuivre ; au bout d'un quart d'heure, cette eau filtrée, traitée par le sulfhydrate d'ammoniaque, ne donne pas la moindre coloration noire. Dans le même filtre ou dans un autre qui n'a pas encore servi, on verse de la même manière une solution de sulfate de fer ; le cyanure jaune de potassium ne donne pas avec l'eau filtrée la teinte bleue caractéristique. On prend de l'urine fermentée dont une seule goutte versée dans un verre à réactif amène la décoloration immédiate d'une solution faible de permanganate de potasse ; on jette dans le filtre un demi-verre de cette urine ; l'eau filtrée recueillie au bout d'un quart d'heure ne décolore pas la solution simplement rosée de permanganate et cette coloration persiste encore au bout d'un quart d'heure.

Devant le jury, l'on a versé dans le filtre une bouteille de vin rouge contenant 17 % d'alcool ; au bout de quelques instants il a passé un liquide parfaitement incolore, presque aussi insipide que l'eau pure, ayant cependant un gout plat et fade, comme

de l'eau à laquelle on a ajouté quelques gouttes d'alcool ; le liquide ainsi traité ne contenait plus que 5 à 6 °/₀ d'alcool. De même l'eau perd environ la moitié de ses degrés hydrotimétriques après avoir traversé le filtre. »

« Il n'est pas douteux, ajoute le docteur Vallin, qu'il se produit là des phénomènes très remarquables ; sans doute on connaît depuis très longtemps la propriété qu'a le charbon, et surtout le charbon animal, de fixer les principes minéraux et même les matières animales en dissolution dans l'eau, mais l'action est ici beaucoup plus vive et beaucoup plus rapide. Elle doit tenir en partie à l'état de division extrême de la poudre carbo-calcaire qui adhère au tissu d'amiante ; il se fait là soit des oxydations, soit des attractions moléculaires dont les physiciens et les chimistes n'ont pas encore parfaitement expliqué le mécanisme. » Assurément l'état de division du charbon est pour quelque chose dans la rapidité d'action sur l'alcool du vin et sur les matières organiques de l'urine. Mais les réactions sont-elles si obscures que cela ? Il suffit de nous rappeler la composition des mélanges anti-calcaires de Maignen pour savoir que les sels, tels que l'acétate de plomb, le sulfate de cuivre, le sulfate de fer sont transformés presque immédiatement en carbonates et oxydes insolubles, que la matière colorante du vin est précipitée sous forme d'une laque insoluble, etc. et l'on s'explique très bien alors qu'on ne retrouve plus ces matières dans le liquide filtré. Quant à l'action du noir animal, elle est trés rapide ; son action

décolorante sur le vin rouge se fait en quelques minutes, c'est là une expérience de cours classique : on agite deux ou trois minutes, on jette sur un filtre de papier, et le vin passe décoloré.

Quelle que soit la rapidité d'action de ce filtre sur les composés étrangers solubles qui peuvent se trouver dans l'eau, je crois devoir maintenir les conclusions que j'ai formulées à la suite de l'étude du procédé que j'ai intitulé Maignen-Burlureaux. On ne peut en vérité considérer comme un filtre normal et destiné à être employé couramment un appareil basé sur tout un ensemble de réactions chimiques.

Enfin, s'il faut en croire A. J. Snidjers, ce filtre perd en quelques jours son pouvoir stérilisateur et laisse passer les microbes.

Maignen a eu l'idée d'appliquer aussi son procédé à l'épuration en grand des eaux industrielles, à l'aide de l'appareil représenté dans la figure 15. L'eau arrive sur une roue hydraulique qui, au moyen d'un agitateur, fait tomber régulièrement la poudre purifiante.

Le mélange se fait dans un cône renversé contenu dans un cylindre ; l'eau remonte entre le cône et le cylindre, passe dans un deuxième appareil, à peu près semblable, dont le cône contient des tablettes démontables, horizontales et inclinées, sur lesquelles se fait le dépôt. Cet appareil est remarquable par son procédé de distribution du réactif qui est réglé par l'arrivée de l'eau sur la roue hydraulique.

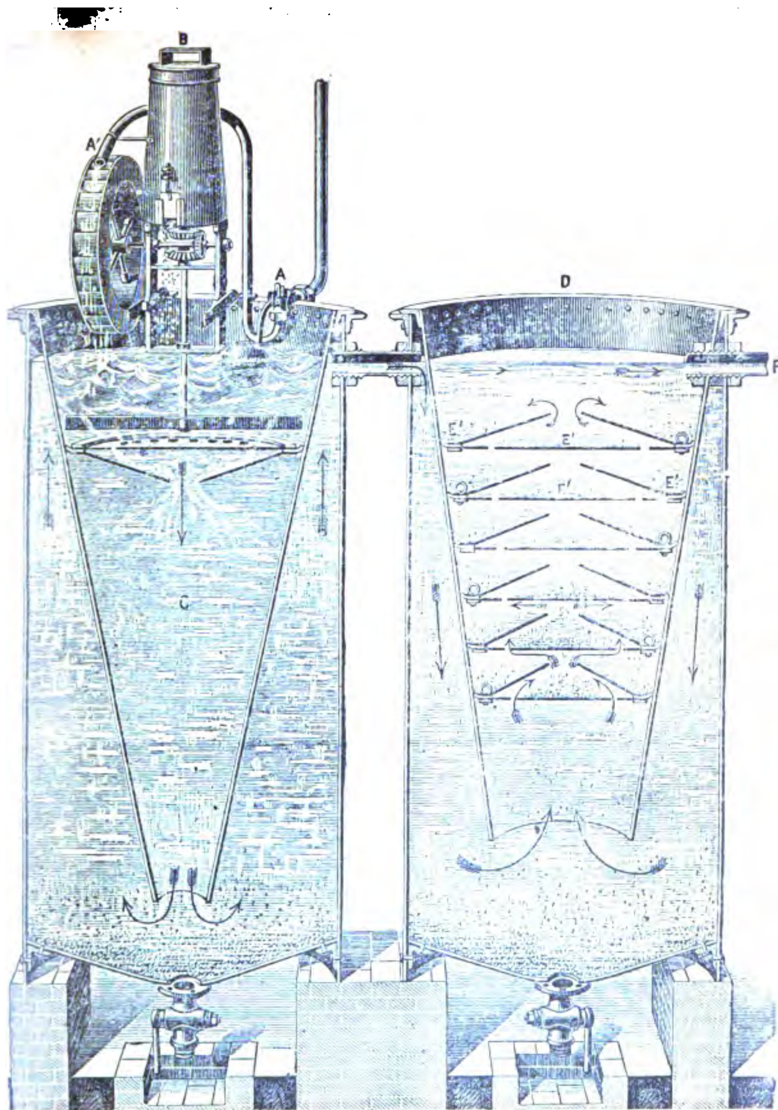


Fig. 15. — Épurateur automatique (système Maignen).

A A' B, distributeur automatique de poudre anticalcaire; C, saturateur; D, décanteur; E' E' E, pour le repos des précipités légers. Les précipités lourds restent au fond des deux cuves. L'eau épurée sort en F.

Filtre Johnson.

C'est un filtre à charbon d'un modèle tout à fait spécial et très employé en Angleterre, surtout dans les brasseries.

Il s'en construit deux modèles, un petit pour les usages domestiques, et un grand pour les besoins industriels.

Le filtre domestique a la forme d'un disque en fonte ou en bronze placé verticalement. Sur les faces opposées de deux disques épais en métal ont été gravées, comme on pourrait le faire à l'aide d'un puissant compas, des lignes circulaires concentriques, écartées de quelques millimètres, et formant une série de rigoles très rapprochées ayant un millimètre environ de profondeur Deux plaques semblables sont ainsi rapprochées et fortement serrées l'une contre l'autre à l'aide d'une vis, comme dans une presse à copier. Entre. ces deux disques on interpose un papier carboné. Les saillies circulaires des deux plaques métalliques sont toutes coupées et interrompues .dans leur continuité par un trait de lime qui traverse le plan du disque, suivant son diamètre. A l'une des extrémités de ce diamètre se trouve le robinet d'arrivée de l'eau : à l'autre extrémité est fixé le robinet de puisement d'eau filtrée. Le liquide arrivant avec la forte pression du service hydraulyque, traverse directement et perpendiculairement le papier carbonifère par un nombre considérable de points ; il y a en réalité autant de filtres qu'il y

a de rayures gravées sur la plaque, et chacune de celles-ci déverse son contenu dans la rigole qui la coupe perpendiculairement.

Le disque de papier filtrant peut se changer avec la plus grande facilité et comme il coûte très bon marché (4 à 9 francs le cent.) la dépense devient très minime.

L'appareil peut se placer dans la cave, sur le trajet de la conduite d'eau qui dessert une maison, ce qui permettrait de conserver à l'eau sa fraîcheur ; la filtration est d'ailleurs très rapide, la surface filtrante étant très large et le système exigeant une pression de plusieurs atmosphères.

Le filtre industriel est composé d'un grand nombre de disques filtrants superposés. Le grand modèle des brasseries peut fournir jusqu'à 600,000 litres d'eau filtrée par jour.

La matière filtrante pour les petits appareils est un papier spécial composé uniquement de fibres de coton purifiées et de charbon animal, 10 à 20 °/₀ du poids du coton, débarrassé de tous les phosphates.

Dans les grands filtres ressemblant aux presses à levûres et se maniant de la même façon on emploie le papier conjointement avec des toiles spécialement préparées.

Ces filtres, employés dans les grandes brasseries d'Angleterre (Alsopps and sons, Bass et C°, Guinness, Ind Coope et C°) donnent, paraît-il, de bons résultats. Mais les résultats seraient-ils aussi bons avec l'eau de boisson, au point de vue bactériologique ? Etant donnée la grande proportion de ma-

tières organiques (fibres de coton, toiles) qui entrent dans leur composition, il est permis d'en douter quand on sait qu'avec les matériaux d'origine purement minérale, il est déjà si difficile d'empêcher la culture des microbes dans les pores du filtre.

Filtre à sable et à charbon.

Voici encore un dispositif très simple, facile à mettre en pratique partout :

Dans un seau ordinaire, on pose verticalement un tube en porcelaine (ou en fer) de 8 à 10 centimètres de diamètre, dont les deux extrémités sont à jour, et percé vers l'extrémité inférieure d'un grand nombre de petits trous.

Cela fait, on remplit le seau jusqu'aux trois quarts environ de sable fin et propre, mélangé avec des petits morceaux de charbon de bois (la braise de boulanger est recommandable à cause de sa porosité). En versant de l'eau dans le tube en porcelaine, cette eau s'en échappe aussitôt par les trous percés à son orifice inférieur, et, traversant le sable et le charbon, monte au même niveau que dans le tube, niveau qu'on a soin de maintenir un peu au dessus de la couche superficielle du sable.

Cette eau ainsi purifiée peut être recueillie à l'aide d'un siphon.

Procédé Richard.

E. Richard, inspecteur principal du service des eaux à Versailles, a eu l'heureuse idée d'appliquer aux fontaines en grès ordinaires qui sont encore si répandues dans les ménages, la purification de l'eau à l'aide du fer et du charbon. Nous connaissons les réactions qui se passent dans ces conditions au point de vue de la destruction des matières organiques et des microbes et de la fixation des substances odorantes et colorantes.

Voici le procédé tel que Richard le décrit : « J'admets que chacun a chez soi soi une fontaine filtrante, une boule à riz en *fer*, une chaînette en *fer*, un piton en *fer* et du *charbon* de bois ; je concasse le charbon aussi petit que possible, je remplis la boule que je fixe par son anneau à l'une des extrémités de la chaînette ; je coupe celle-ci à la longueur voulue pour que la boule reste suspendue à 10 centimètres environ au dessus du fond de la fontaine, c'est-à-dire assez haut pour plonger dans le courant moyen des veines fluides pénétrant dans le compartiment de l'eau filtrée, assez bas pour atteindre toutes les molécules, et ne pas être pourtant couverte par les dépôts que produit le dépouillement de l'eau ; j'ouvre en crochet la dernière maille opposée à la boule, je fixe à l'intérieur du couvercle un piton, de façon à ce que la boule occupe l'axe de l'espace libre entre la pierre filtrante et la paroi opposée de la fontaine, et j'accroche la

chainette, après avoir ajouté toutefois à la boule

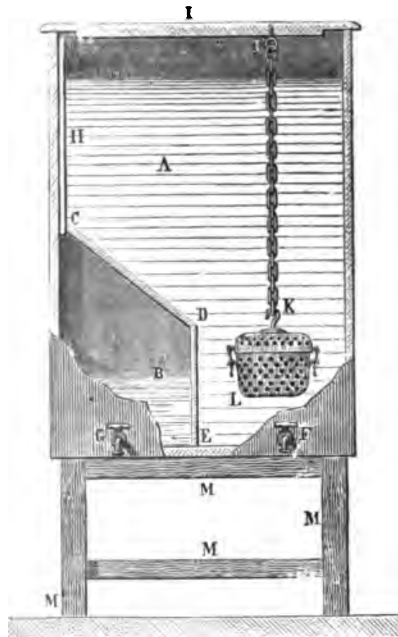


Fig. 16. — Coffret épurateur Richard.

Coupe en élévation de la fontaine avec son appareil : A, partie de fontaine dans laquelle on verse l'eau à filtrer; B, compartiment de l'eau filtrée; C, D, E, pierre poreuse constituant le filtre habituel; F, robinet de décharge à ouvrir *seulement* lors du nettoyage de la fontaine; G, Robinet d'eau filtrée ou d'alimentation; H, ventouse du compartiment du filtre; I, couvercle en bois, mobile, de la fontaine; J, piton fermé fixé audit couvercle; J, K, chaîne en fer servant à la suspension du coffret; L, Coffret-épurateur avec crochet suspendu à la chaîne J, K, s'ouvrant et renfermant le charbon de bois, placé à 0^{m} 10 c, environ au dessus du fond de la fontaine; M, pieds ou supports de la fontaine.

quelques grammes de fer pour l'obliger à plonger

de suite. Les grosses boules à riz qu'on rencontre dans le commerce se vendent environ 1 fr. 75 ; elles contiennent 200 grammes de charbon sec. L'installation n'est donc pas coûteuse. »

On admet que les 200 grammes de charbon peuvent épurer 200 litres d'eau; il suffira donc de renouveler le charbon quand on aura consommé 200 litres d'eau.

Une commission spéciale, nommée à Versailles, a étudié les résultats obtenus au moyen de l'appareil Richard, et il a été reconnu par l'analyse chimique et micrographique que l'action de ce système était d'une grande efficacité pour débarrasser les eaux des matières organiques et des produits gazeux qui pouvaient en altérer la pureté.

En tout cas, c'est un procédé ingénieux et qu'on ne saurait trop recommander à toutes les personnes, et elles sont légion, qui possèdent chez elles une fontaine à pierre filtrante.

Filtre Bishof.

Nous savons déjà que ce filtre repose sur l'emploi du fer spongieux, dont j'ai donné le mode de préparation, que ce système a été appliqué en grand, pendant un certain temps, à l'épuration des eaux d'Anvers, et pour quelles raisons (difficultés de nettoyage) il a été remplacé par le système Anderson.

Je vais décrire ici le filtre qui était construit pour les usages domestiques et qui a eu une grande

vogue en Angleterre, à la suite des rapports favorables de la part des inspecteurs de la pollution des rivières, des médecins militaires et aussi des médecins de l'armée prussienne.

Ce filtre consiste en une fontaine rectangulaire divisée sur sa hauteur en quatre compartiments. Le compartiment inférieur reçoit l'eau filtrée et est muni d'un robinet placé en bas. Le second compartiment renferme trois couches superposées de sable préparé, formé d'un mélange de gravier fin et de bioxyde de manganèse naturel destiné à enlever à l'eau la petite quantité de fer qui peut s'y trouver en dissolution ; ces couches de sable reposent sur une cloison percée de trous ; au-dessous de celle-ci existe une autre cloison en grès formant cuvette à son centre et qui porte une ouverture qu'on peut ouvrir plus ou moins à l'aide d'une clef se manœuvrant de l'extérieur, ouverture par laquelle l'eau purifiée se rend dans le compartiment intérieur. Le troisième compartiment est rempli de fer spongieux qui est retenu par deux cloisons en grès perforé, placées l'une à la partie inférieure et l'autre à la partie supérieure. Enfin le quatrième compartiment est celui de l'eau à filtrer qui y pénètre à l'aide d'un robinet, munir d'un flotteur, parce qu'il faut que le fer spongieux soit toujours recouvert d'une couche d'eau.

Nous ne reviendrons pas sur l'encrassement du fer spongieux et sur la nécessité des renouvellements et des nettoyages périodiques.

Filtre à micro-membrane de Breyer.

Il se compose de deux grilles métalliques en laiton nickelé, à mailles capillaires; ces grilles sont tendues sur des cadres circulaires ou rectangulaires, hermétiquement assemblées, laissant entre les grilles, soutenues par de légères armatures, un intervalle (3 millim.) à remplir par une bouillie d'amiante préparée d'une façon spéciale, et qu'on fixait tout d'abord à l'aide d'un vernis à la laque. Dans les modèles plus récents les lamelles d'amiante sont encadrées de caoutchouc au lieu d'être collées sur le laiton, ce qui assure une fermeture plus hermétique et ne laisse plus suinter d'eau entre le cadre et la lamelle d'amiante. Enfin, ces plaques sont stérilisées à l'étuve avant d'être montées.

Ces éléments de filtre sont de dimensions variables; ils ont de 12 à 15 centimètres de diamètre pour les usages ordinaires. Une ouverture, ménagée dans l'épaisseur des deux cadres unis permet de faire communiquer l'intérieur, c'est-à-dire l'amiante prise entre les deux grilles, avec un tube qui livre l'eau filtrée.

Cet élément, placé dans le liquide à filtrer, lui présente ses deux faces qui sont traversées avec la moindre différence de niveau, deux à trois centimètres.

On comprend qu'en plaçant plusieurs de ces disques filtrants les uns à côté des autres et en les faisant communiquer avec un tube, on constitue des

batteries capables de donner à l'appareil une grande puissance; on a fait des filtres pouvant donner 30.000 litres à l'heure.

Quant à l'amiante qui forme la partie fondamentale du filtre, on lui fait subir les préparations suivantes : Elle est d'abord triturée sous une meule verticale, et par le lavage on la débarrasse des corps étrangers. La masse pâteuse obtenue par macération dans l'eau et par décantation est mélangée à parties égales avec du carbonate de chaux cristallisé en gros grains et on broie de nouveau le tout sous la meule. Les grains de carbonate écrasent, déchirent, écartent les filaments les plus ténus de l'amiante qui finissent par n'avoir plus, paraît-il, que 1/1000 de millimètre de diamètre, 2 à 3 millimètres de long et même moins. On traite ensuite cette bouillie avec un peu d'acide chlorhydrique qui dissout le carbonate. La pâte est délayée dans l'eau; les particules les plus fines se déposent dans un bac à écoulement lent, sur une toile métallique recouverte de tulle, comme la pâte à papier.

D'après E. Muller (novembre 1884), le filtre Breyer retient les matières colorantes les plus fines; des eaux teintées au carmin ou à l'outremer en sortent absolument décolorées.

Retient-il aussi bien les microbes? c'est là le point important.

Dans une conférence faite à Vienne, le 16 décembre 1884, Weichselbaum a exposé le résultat de ses expériences. Du virus charbonneux très actif fut filtré à travers les plaques dites « micro-mem-

branes » ; les souris auxquelles on injecta sous la peau une seringue de Pravaz de ce liquide filtré restèrent bien portantes, alors que quelques gouttes du liquide non filtré amenaient toujours la mort. Les dilutions de crachats tuberculeux injectées, après avoir été filtrées, sous la peau des cobayes, ne déterminèrent plus que quelques rares tubercules.

Le docteur H. Buchner, de Munich, a fait de son côté une série d'expériences en 1886. Il s'est servi du modèle destiné aux ménages dont les lamelles filtrantes représentent une surface de 230 centimètres carrés. Il y a fait passer, sans changer de lamelle : 1° une eau de puits connue pour être riche en bactéries (le résultat fut parfait : de 1400 par centimètre cube, la proportion des germes tomba à 0) ; 2° une eau chargée artificiellement de bacilles typhiques de culture pure (la proportion des germes dans l'eau sortant du filtre passa de 190,000 à une moyenne de 100 par centimètre cube) ; 3° une eau additionnée d'une culture pure de spores de bacilles du foin (il y avait 44,000 spores dans l'eau à filtrer, et seulement 119 à 150 dans l'eau sortie du filtre).

Dans une autre série d'expériences, il remplaça, avec les précautions recommandées, les lamelles qui avaient servi aux épreuves précédentes par des lamelles neuves et il fit passer de nouveau de l'eau de puits contenant des bactéries. Cette fois, la moyenne des germes étant de 4.830 par centimètre cube dans l'eau non filtrée, elle resta à 17 après la filtration, c'est-à-dire 1 sur 284.

Ces résultats montrent que le filtre Breyer n'est pas le filtre parfait, puisqu'il laisse passer des microbes ; ils démontrent, en outre, que la finesse des filaments employés pour la construction d'un filtre ne joue pas un rôle aussi important qu'on veut bien le dire, puisque voici une membrane constituée par des filaments dont certains n'ont, d'après l'auteur, que 1/1000 de millimètre, tandis que la porcelaine serait formée par des grains beaucoup plus volumineux et surtout, ce qui est la chose importante, laissant entre deux des espaces vides plus grands qu'avec l'amiante. J'ai fait voir, en exposant la théorie de la filtration, qu'il n'était pas si nécessaire que cela de viser à obtenir des espaces vides plus petits que les microbes (ce qui en pratique doit être à peu près impossible) ; il suffit que le volume de chacun de ces espaces vides soit assez petit pour que les particules, les microbes, arrivant dans leur intérieur, soient dans la sphère d'action de leur pouvoir d'attraction moléculaire.

En fait, le filtre à micro-membrane d'amiante ne filtre pas mieux, je serais bien tenté de dire filtre moins bien que le filtre Chamberland en porcelaine cuite. Il a, de plus, sur ce dernier un grand inconvénient, c'est qu'il est beaucoup plus délicat ; que de précautions sont nécessaires, en effet, pour que, dans la confection de la membrane, dans la réunion de celle-ci sur ses cadres, dans l'assemblage de ceux-ci, dans les joints avec le tube de sortie de l'eau, il n'y ait pas la moindre fissure. Son mode d'essai est bien plus difficile aussi, et enfin, le net-

toyage ne doit pas être aisé, d'autant plus qu'il s'encrasse rapidement.

Filtre du docteur Hesse.

Le docteur Hesse a étudié la plupart des filtres connus, il en conclut que tous laissent passer des bactéries, et que souvent même l'eau contient plus de bactéries après avoir traversé le filtre, et il ajoute qu'il ne connaît que deux filtres donnant une eau stérilisée : le filtre en porcelaine de Chamberland, dont il a modifié quelques détails avec K. Mœller, et son filtre à l'amiante, qui n'est d'ailleurs qu'une imitation du filtre Breyer ; il se compose, en effet, d'une mince couche d'amiante (moins de un millimètre) fortement comprimée entre deux disques percés de trous.

Il conseille, d'une façon générale, d'employer de faibles pressions qui fournissent pendant de longs mois une quantité d'eau toujours égale. Avec les fortes pressions, les volumes fournis décroissent rapidement, ce qui tient à ce que les matières en suspension commencent par boucher les pores les plus larges et que l'obturation continue par les pores les plus fins ; elle est d'autant plus hermétique que l'eau est plus impure et que la pression est plus forte, parce que les particules obturantes sont d'autant plus solidement pressées dans les pores de la porcelaine.

Filtre Arnold et Schimmer (Fig. 17).

Ce filtre a été construit sur les indications de Piefke, directeur des eaux de Berlin. En voici la description d'après J. Arnould: C'est un ensemble de compartiments filtrants, superposés et renfermés dans un récipient cylindrique commun; l'eau filtre de bas en haut et se collectionne à la partie supérieure du cylindre. La matière filtrante est la cellulose préparée, ou l'amiante à l'état de bouillie ou sous forme de disques obtenus par compression. Elle est déposée sur des plaques de tôles criblées de trous et recouvertes d'une toile métallique très légère, en cuivre étamé (on voit que c'est une réminiscence du filtre Breyer). Le nettoyage de ce filtre, qui est très énergique, s'effectue au moyen d'une paire de bras, dans chaque compartiment filtrant, portés par un axe vertical, qu'une manivelle placée au dessus du couvercle permet de mouvoir. Ces bras ou ailettes raclent les impuretés déposées par l'eau et en même temps la bouillie filtrante, brassent le tout sous un courant d'eau que l'on dirige à l'intérieur, et préparent l'appareil à un lavage complet. On peut, en combinant l'effet de ce courant avec un jeu de robinets, soit laisser retomber sur la toile métallique la bouillie-filtre qu'on suppose assez lavée, soit faire écouler entièrement la matière filtrante elle-même, avec les impuretés qu'elle retenait.

D'après W. Hesse, ce filtre doit être rangé parmi

les filtres ordinaires, et il propose de l'employer à filtrer d'abord, pour la débarrasser des plus grosses

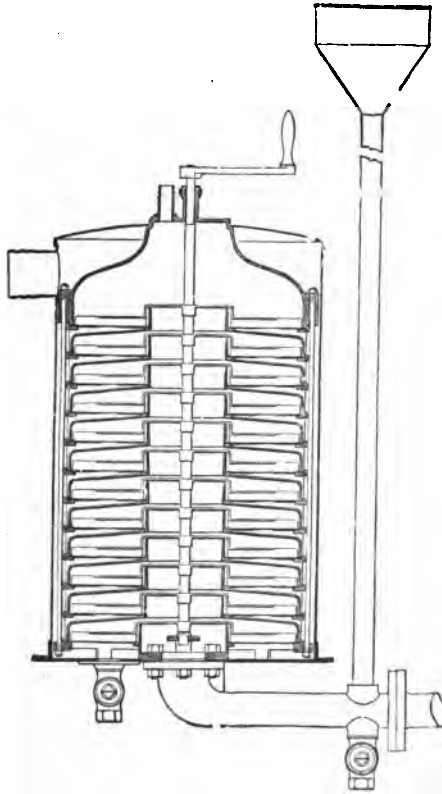


Fig. 17. — Filtre Arnold et Schimmer.

impuretés, l'eau que l'on veut ensuite faire passer par un filtre impénétrable aux microorganismes.

Filtre Chamberland.

Tout le monde en France connait le « Filtre Chamberland, système Pasteur ». On l'emploie aussi très fréquemment à l'étranger, soit sous sa forme et sous son nom ordinaires, soit après l'avoir plus ou moins modifié et débaptisé. On peut dire que c'est le premier filtre ayant une action réelle sur la séparation des microbes de l'eau ; il a ouvert la voie à tous les autres filtres de porcelaine ou d'amiante, et a posé et résolu le premier d'une façon pratique le problème de l'obtention régulière d'eau pure de tout germe.

Voici d'ailleurs la description qu'en a donné Chamberland lui-même, dans une Conférence sur les microbes des maladies dans l'air et dans l'eau :

« Dans le laboratoire de M. Pasteur, on filtre les liquides dans lesquels on a cultivé des microbes, afin de les séparer du milieu liquide dans lequel ils se trouvent. Nous nous servons, à cet effet, d'un petit tube en porcelaine dégourdie, que nous avons fait construire spécialement dans ce but. Le liquide traverse la paroi poreuse sous l'influence de la pression atmosphérique, car nous faisons le vide autour du tube, à l'aide d'une machine pneumatique. On recueille ainsi, après plusieurs heures, quelques centimètres cubes de liquide absolument pur.

« C'est ce procédé que j'ai appliqué à la filtration de l'eau. J'y ai introduit seulement les modifications nécessaires pour rendre l'appareil tout à fait pratique.

Mon appareil se compose (*Fig.* 18) d'un tube de porcelaine dégourdie A renversé sur une bague de

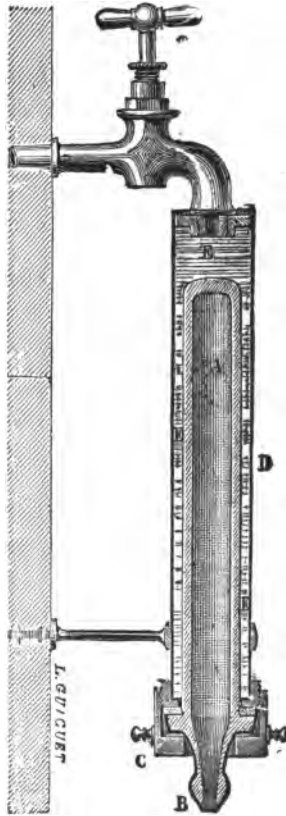


Fig. 18. — **Filtre Chamberland.**

porcelaine émaillée faisant corps avec lui et portant une ouverture B pour l'écoulement de l'eau. Ce tube est placé dans un autre tube métallique D, s'adap-

tant directement sur un robinet soudé sur la conduite. Un écrou C placé à la base et que l'on serre à la main permet, grâce à une rondelle de caoutchouc placée sur la bague émaillée, de clore hermétiquement le tube métallique.

« Dans ces conditions, lorsqu'on ouvre le robinet, l'eau remplit la partie comprise entre le tube métallique et le tube poreux ou *bougie filtrante*. Elle filtre lentement sous l'influence de la pression, à travers la paroi, de l'extérieur à l'intérieur, où elle se dépouille de toutes les matières solides, y compris les microbes et les germes qu'elle renferme. Elle s'écoule tout à fait pure par le tube inférieur dans un vase où on la reçoit. »

La bougie filtrante a 20 centimètres de longueur sur 2 cent. 1/2 de diamètre. Comme le débit d'une seule bougie est assez restreint, on assemble un nombre plus ou moins grand de bougies dans un récipient métallique, dont le couvercle boulonné permet d'y maintenir l'eau sous pression, sans avoir à craindre de fuites (*Fig.* 19). Ces bougies sont généralement disposées en cercles simples ou concentriques, et le téton de chaque bougie est relié à l'aide d'un tube en caoutchouc sur un téton correspondant d'un tube en porcelaine vernissée formant lui-même un cercle ou plusieurs cercles concentriques avec un unique tube latéral de sortie. On remplace quelquefois le tube en porcelaine par un tube en métal moins fragile. On peut ainsi, en augmentant le nombre des bougies et en réunissant en batteries plusieurs filtres

à nombreuses bougies, obtenir un volume d'eau pouvant répondre à tous les besoins.

Comme nous venons de le voir, la pression est

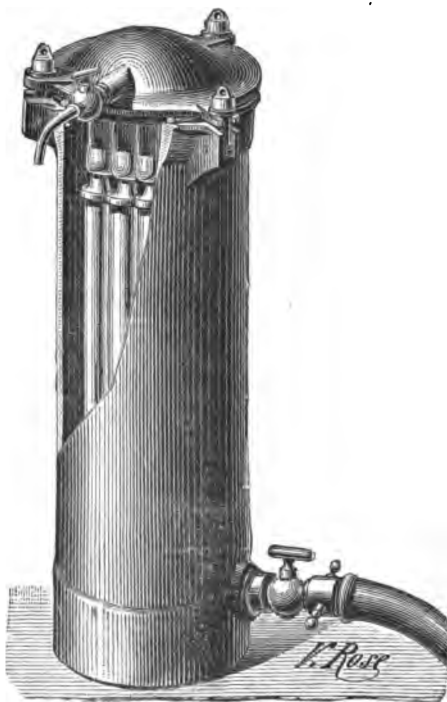


Fig. 19.
Filtre Chamberland sous pression, à plusieurs bougies.

nécessaire pour le passage de l'eau à travers le tube de porcelaine ; or, il arrive assez souvent que cette pression fait défaut, à la campagne par exemple, et même dans un certain nombre de villes. Il est facile

d'y remédier par l'un des deux dispositifs suivants : ou bien adapter au récipient métallique clos renfermant les bougies, une pompe destinée à y refouler sous pression l'eau puisée à un réservoir quelconque (c'est d'ailleurs là un procédé appliqué aujourd'hui à un grand nombre de filtres) ; ou bien (et c'est le dispositif utilisé dans les laboratoires pour filtrer les bouillons de culture) plonger la bougie dans l'eau à filtrer, réunir son téton à l'aide d'un tube en caoutchouc très épais à un tube recourbé entrant à frottement dans un bouchon de caoutchouc à deux trous placé sur un récipient en verre ; dans le second trou se trouve un autre tube recourbé permettant de faire le vide dans le récipient en verre, soit à l'aide d'une trompe, soit à l'aide d'unc petite pompe à main (je me suis servi longtemps à la campagne de ce dispositif et j'employais, pour faire le vide, la petite pompe d'un aspirateur Potain).

Tout cet agencement est quelque peu compliqué, et nécessite une petite dépense supplémentaire. Or, pour faire accepter du public la filtration de l'eau, il faut lui mettre entre les mains des appareils simples et automatiques ; c'est déjà beaucoup lui demander que de procéder à des nettoyages périodiques, et nous verrons un peu plus loin que les inventeurs se sont ingéniés pour rendre automatiques ces nettoyages. Aussi, la Compagnie du filtre Chamberland fabrique-t elle depuis quelque temps deux sortes de bougies, portant incrustées dans la pâte, sur le fond de la bougie, ainsi que sur la bague en porcelaine vernissée, les deux lettres F et B. Les

bougies B servent à la filtration sous pression, tandis que les bougies F faites avec une pâte poreuse, permettent un débit suffisant avec une pression inférieure à la pression atmosphérique, elles peuvent fonctionner, en effet, avec une différence de niveau de quelques décimètres et sont capables de débiter, même dans ces conditions, 2 litres par heure ; elles peuvent, d'autre part, résister à une pression de 8 atmosphères, et débitent 7 litres 5 par heure. On voyait à l'exposition d'hygiène urbaine de 1886, un filtre sans pression qui débitait 3 à 5 litres par minute, soit de 4.320 litres à 7.200 litres en 24 heures. On trouve dans le commerce des filtres de ménage (*Fig.* 20) composés de 3, 5, etc., bougies dont les tétons sont réunis par des bagues de caoutchouc sur un collecteur consistant en un tube de porcelaine dégourdie portant lui-même un nombre de tétons correspondant à celui des bougies qu'on veut employer, fermé à l'une de ses extrémités et dont l'autre extrémité, formant aussi téton, est munie d'un tube de caoutchouc destiné à faire écouler l'eau filtrée dans un récipient convenable. Il faut avoir soin nécessairement de placer ce récipient en contre-bas de celui qui contient l'eau à filtrer dans lequel plongent les bougies. Enfin, sur le parcours du tube en caoutchouc, est intercalé un petit amorceur (*Fig.* 21) consistant en un cylindre de verre un peu plus large que le tube de caoutchouc et ouvert à ses deux extrémités ; l'ouverture supérieure est reliée au tube venant du collecteur, l'ouverture inférieure porte un bouchon traversé par un tube

étroit qui pénètre jusqu'au quart environ du cylindre et qui est relié au tube de caoutchouc se rendant au réservoir d'eau filtrée. De cette façon, pendant le fonctionnement du filtre, le cylindre de verre contient toujours une petite quantité d'air emprisonné qui forme, lorsque le niveau de l'eau baisse légèrement dans ce cylindre, une aspiration légère empêchant le désamorçage du tube en caoutchouc.

On conçoit que la condition *sine qua non* d'une bonne filtration soit l'intégrité absolue des bougies de porcelaine, et que la plus petite fêlure les rende inutilisables ; il y a eu dans les commencements quelques déboires provenant de ce fait, car il n'est pas aisé de reconnaître à la simple inspection une légère fissure. Aujourd'hui les bougies sont essayées par le fabricant avant d'être livrées au commerce, et portent inscrits sur le cylindre les mots : Controle F.C.S.P

Mais comme il peut arriver que, pendant le transport, pendant les opérations du nettoyage, une bougie se trouve fêlée, le mieux est de l'essayer soi-même, ce qui est très facile par le moyen suivant : On plonge la bougie renversée dans un vase en verre contenant de l'eau bien limpide, on réunit le téton de la bougie à l'extrémité d'une petite pompe à air, et on injecte ainsi à l'intérieur de l'air à une pression de 1 à 2 atmosphères ; s'il y a la plus légère fissure, on voit des bulles d'air sourdre par celle-ci et se dégager dans l'eau. Comme dans les ménages, on n'a pas toujours sous la main une pompe à air, il suffira d'employer un simple soufflet à souffler le feu, mais alors il faudra avoir soin, après chaque

compression du soufflet, de pincer fortement le tube

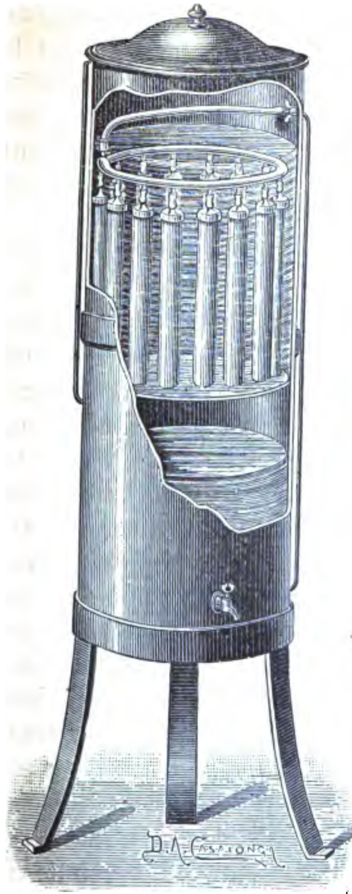


Fig. 20. — Filtre Chamberland : filtre de ménage sans pression.

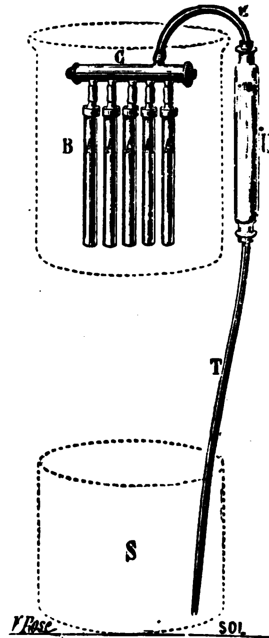


Fig. 21. — Filtre Chamberland, sans pression, avec amorceur.

de caoutchouc reliant l'extrémité de ce soufflet à la

bougie, parce que, pendant la décompression de ce soufflet, l'air injecté dans la bougie tendrait à s'échapper, la soupape de cet instrument ne faisant jamais fermeture hermétique.

On construit des filtres de formes diverses pouvant s'adapter aux différents besoins ; la bougie reste toujours la même ; ce sont les différents modes d'assemblage de ces bougies qui varient, ainsi que les formes des récipients qui les contiennent. Voici par exemple comment est installé le filtre transportable ou filtre de campagne pour les troupes en marche (*Fig.* 22). Le récipient est une véritable chaudière, ou, plus exactement, un autoclave Chamberland si répandu aujourd'hui dans les laboratoires de bactériologie ; il est monté sur tourillons de façon à pouvoir basculer et être vidé instantanément. L'eau impure, refoulée par une pompe aspirante et foulante, y pénètre par l'un des tonrillons au moyen d'un raccord d'accouplement spécial qui suit le filtre dans tous ses mouvements. Le système filtrant comporte 21 bougies, mais ces bougies diffèrent des bougies courantes en ce qu'elles sont ouvertes aux deux extrémités et ne portent pas d'embrase émaillée. Le raccordement au collecteur est fait par des montures spéciales (assujetties sur la bougie par des bagues de serrage mobiles) qui rendent la casse impossible malgré les chocs et les ébranlements inévitables résultant du transport. Deux écrous suffisent à faire les joints : l'un est inférieur, il porte le bouchon de vidange des bougies ; l'autre est supérieur et se raccorde à la tubu-

lure de sortie de l'eau pure. C'est par cette tubulure que l'on peut souffler dans l'intérieur des bougies, afin de s'assurer de leur étanchéité, laquelle se constate, comme nous venons de le dire, par l'ab-

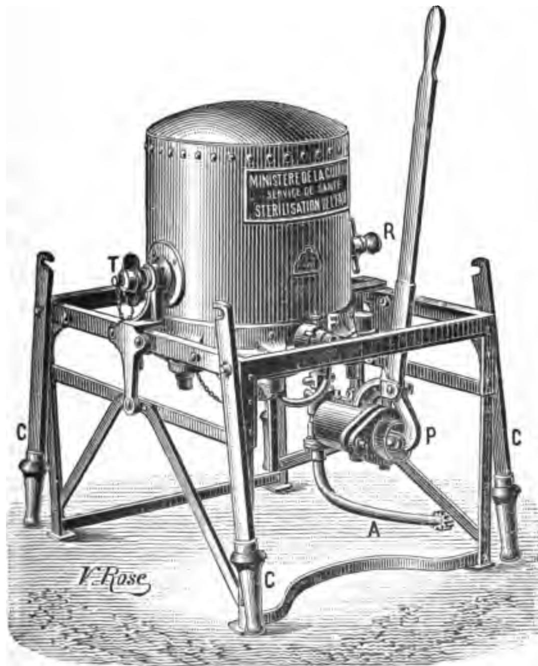


Fig. 22. — Filtre transportable ou filtre de campagne (Boulet et Cie).

sence de bulles d'air dans l'eau où elles sont plongées. S'agit-il de remplacer l'une d'elles, on dévisse les deux écrous et on sort d'un bloc les bougies et leur monture ; la bougie suspecte est remplacée en un instant grâce au mode de montage adopté. Les

bougies n'ont pas d'embase émaillée, aussi peut-on y introduire les substances susceptibles de fixer ou décomposer les matières solubles qui rendent certaines eaux désagréables. Ajoutons que l'eau, lorsqu'elle arrive à leur contact, a déjà traversé la bougie qui a retenu à sa surface externe toutes les particules solides. Ces substances ne s'encrasseront jamais comme il arrive dans les filtres ordinaires, et il deviendra possible d'épuiser toute leur activité chimique. Disons en terminant que ce filtre, dont le poids ne dépasse pas 50 kilogrammes, peut être transporté sur un bât de mulet ou à dos de chameau selon les pays, ou plus simplement à l'aide d'un brancard tenu par deux hommes.

Nous allons étudier les résultats obtenus avec le filtre Chamberland qui ne présente guère qu'un inconvénient, c'est le nettoyage ; quand on a affaire à une eau impure, telle que l'eau de Seine, le filtre est encrassé au bout de trois à quatre jours, au point de ne presque plus débiter d'eau, ainsi que je l'ai constaté maintes fois à l'hôpital de la Charité, lorsqu'on introduisait de l'eau de Seine dans la canalisation destinée à l'eau de la Vanne ; j'étais même averti ainsi d'une façon très précise chaque fois qu'on substituait une eau à l'autre.

Il y a donc nécessité de faire des nettoyages fréquents, et cette nécessité prouve la bonté du filtre qui, arrêtant toutes les particules en suspension, s'obstrue d'autant plus vite que ces particules sont plus nombreuses. C'est le mode de nettoyage qui n'est pas très pratique. On recommande de dé-

monter les bougies, de les brosser, de les rincer, et même de les passer au feu afin de calciner les matières organiques que la brosse n'a pu enlever (ce qui évidemment ne peut se faire que dans les laboratoires), ou bien de les plonger pendant une heure dans un mélange de cinq parties d'eau ordinaire et une partie d'acide chlorhydrique, de les rincer à nouveau, de les remonter et de perdre le premier litre d'eau filtrée.

Assurément toutes ces opérations sont indispensables, non seulement si l'on veut maintenir au filtre un débit convenable, mais surtout si l'on veut avoir de l'eau filtrée bien privée de microbes, ainsi que nous le verrons plus loin. Quand on n'a à entretenir que quelques bougies, cela va bien ; mais qu'on songe au temps nécessaire pour le nettoyage de 25, 50 ou un plus grand nombre de bougies. On pourrait peut-être objecter que le temps passé est chose secondaire pourvu que l'on soit assuré d'avoir de l'eau bien pure. Mais, il y a plus ; pendant toutes ces manipulations, il y a bien des chances pour qu'une ou plusieurs bougies se trouvent fêlées ; il faudra donc, une fois les bougies remontées, car on ne s'apercevra pas toujours de la fêlure immédiatement, en faire l'essai, et si cet essai indique qu'il y a des bougies à changer, il faudra procéder à ce changement. Eh bien ! voit-on la complexité de ces manipulations assez délicates ? Et qui en sera chargé le plus souvent ? Un homme de peine ; et croit-on qu'il aura toujours la conscience d'opérer exactement et qu'il ne sera pas tenté d'abréger le

nettoyage, et de laisser en place, par exemple, des bougies fêlées ? Le docteur Netter ne cite-t-il pas le fait de soldats qui, pour hâter le débit du filtre, avaient cassé volontairement plusieurs bougies?

Il est donc incontestable que le mode de nettoyage sur les bougies démontées n'est pas pratique lorsqu'il y a un grand nombre de bougies ou lorsque les personnes chargées du nettoyage ne sont pas soigneuses. C'est là, je le reconnais, un inconvénient qu'on peut chercher à atténuer, et nous verrons en effet que l'ingénieur André a précisément construit un nettoyeur mécanique qui permet de nettoyer les bougies sans les démonter.

Quels sont les résultats obtenus avec le filtre Chamberland? Au point de vue chimique, on peut dire que la composition de l'eau filtrée est la même que celle de l'eau à filtrer, à part des différences insignifiantes, tandis qu'avec des liquides de composition complexe, comme les bouillons de culture employés dans les laboratoires de bactériologie, il n'en est pas tout à fait de même, ainsi que nous l'avons vu plus haut. Ce filtre ne devra donc être employé que si l'eau à filtrer a une composition chimique convenable, ce qui est le cas le plus ordinaire. Toutefois il est possible de lui faire subir une légère modification capable de lui faire épurer l'eau au point de vue chimique, ainsi qu'on l'a fait pour le filtre militaire de campagne.

D'ailleurs ce filtre est surtout destiné à retenir tous les microbes contenus dans l'eau. A-t-il répondu complètement à cette attente ? La réponse à

cette question va nous être fournie par l'examen des expériences nombreuses faites depuis dix ans.

Disons tout d'abord que Chamberland n'a proposé l'application de sa bougie de porcelaine à la filtration des eaux qu'après s'être assuré par de nombreux essais faits au laboratoire de Pasteur qu'aucun microbe ne passait au travers.

Les docteurs H. Fol et L. Dunant ont essayé, le 10 décembre 1884, les bougies Chamberland avec une eau contenant au moins 5.000 colonies par centimètre cube; ils ont semé 1 cc. de l'eau filtrée dans 2 tubes de gélatine et dans 10 tubes de bouillon, un seul tube de bouillon s'est troublé, et encore attribuent-ils ce fait à un défaut d'expérience. Ce sont eux, disons-le en passant, qui ont les premiers attiré l'attention sur la fragilité des bougies faciles à se fèler et sur l'obligation de les essayer préalablement à toute mise en service.

P. Frankland trouva en 1885 que le filtre Chamberland stérilisait complètement l'eau ordinaire de la Tamise; la seule modification chimique obtenue fut la rétention d'une très faible proportion des éléments solides. Il s'est servi d'un filtre à 10 bougies qui fut traversé pendant deux mois et demi par l'eau de la Tamise contenant 54 colonies par centimètre cube; au bout de ce temps, l'eau filtrée était complètement stérilisée et ne fournissait aucun centre de culture.

Mais en février 1885, Bourquelot et Galippe firent connaître un certain nombre d'expériences tendant à démontrer que les liquides filtrés à tra-

vers la bougie Chamberland n'étaient pas stériles ; ils opéraient sur la salive, l'urine ou la matière fécale décomposée, stérilisées à 150° et étendues d'eau ; les liquides ainsi filtrés tantôt se décomposaient au bout de quelques jours, tantôt se recouvraient de pellicules irisées, et l'on y découvrait de rares organismes immobiles ou doués de mouvements. Les différences ont été grandes d'une bougie à l'autre ; une fois, le liquide (urine) a filtré sans qu'il fût nécessaire de faire le vide, ce qui prouve ou que la bougie avait des fissures invisibles ou était faite d'une porcelaine trop poreuse.

Chamberland a répondu que les troubles qui se montrent d'une façon précoce dans les liquides filtrés sont dus parfois, non à des microbes filtrés, mais à la précipitation par la chaleur ou par l'oxygène de certaines matières protéiques. D'autre part, en laissant pendant longtemps en contact avec l'intérieur de la bougie des liquides putrides, des filaments mycéliens finissent par traverser les pores et apparaissent à la surface extérieure, tandis que rien de semblable ne se produit dans l'usage de ces filtres pour les besoins domestiques, où l'eau non filtrée constitue déjà un milieu peu favorable au développement des microbes.

Ce qui ressort de ce débat, c'est qu'il y avait à ce moment-là des bougies ne répondant pas au but proposé ; depuis, la fabrication s'en est améliorée ; mais il est toujours prudent, comme je l'ai indiqué, de vérifier chaque bougie, afin de

rejeter celles qui laissent passer la moindre bulle d'air.

Dans un Rapport adressé au vice-recteur de l'Académie de Paris, le 6 juillet, Miquel se montre absolument favorable à l'emploi du filtre Chamberland, puisqu'il dit en conclusion : « Par conséquent le filtre en biscuit de Chamberland est capable de retenir *tous* les organismes contenus dans les *liquides* et son emploi pour purifier les eaux potables doit être *fortement conseillé*. A ma connaissance, c'est le *seul* filtre industriel qui puisse s'opposer efficacement à la transmission des maladies par les eaux destinées à l'alimentation si, comme on est en droit de le supposer, les eaux peuvent devenir le véhicule de germes pathogènes. » Ces conclusions sont appuyées sur les expériences suivantes faites avec deux bougies prises au hasard et ayant déjà fonctionné depuis six mois sur deux points différents de la canalisation parisienne ; ces bougies furent d'abord nettoyées avec le plus grand soin, puis stérilisées dans la vapeur d'eau à 110°. De l'eau de Seine accusant une pression de 1/3 d'atmosphère, est filtrée immédiatement à travers la bougie Chamberland (830 gr. sont ensemencés dans 500 gr. de bouillon); après trois jours de fonctionnement, 760 gr. d'eau sont introduits dans 500 gr. de bouillon; et enfin trois jours plus tard, le filtre ayant fonctionné sans interruption, 610 gr. d'eau sont encore ensemencés. Au bout de douze jours d'incubation à l'étuve, les trois ballons sont demeurés limpides. Une autre série d'expériences a été fai-

avec de l'eau de l'Ourcq filtrant sous la pression de 3 à 4 atmosphères, a donné des résultats analogues. Enfin, de l'eau additionnée de bouillon nutritif a aussi été filtrée sans qu'il se développât de microbes dans le liquide filtré.

Depuis lors, ces bougies se sont de plus en plus répandues non seulement pour la filtration de l'eau chez les particuliers, dans les casernes, les hôpitaux, etc., mais aussi dans les laboratoires d'hygiène et de bactériologie, et par conséquent elles ont été soumises à un grand nombre d'expériences. Il résulte de cette vaste enquête que c'est encore le filtre le meilleur qu'on ait réalisé. Est-il parfait ? c'est-à-dire ne laisse-t-il *jamais* passer *aucun* microbe, quels que soient la qualité de l'eau, la durée de son fonctionnement, son mode de nettoyage, la pression et la température de l'eau, etc.? Nous verrons dans le paragraphe suivant qu'il n'en est malheureusement pas ainsi, et que d'ailleurs aucun filtre actuellement connu ne répond à tous ces desiderata. Et je me rallie volontiers à cette conclusion d'un mémoire récent de Miquel : « La bougie Chamberland a fait faire un pas immense à la question de la filtration des eaux à basse température ; elle a encore quelques défauts, on peut les atténuer, peut-être même les lui enlever complètement, si on se met sérieusement à l'œuvre pour résoudre ce problème. » C'est précisément cette atténuation que j'ai cherché à réaliser dans le procédé de stérilisation à froid auquel mes expériences m'ont conduit.

Filtre W. Hesse-K. Mœller.

C'est un filtre en porcelaine tout à fait analogue au filtre Chamberland qui n'en diffère que par quelques détails d'agencement.

Les tubes filtrants sont rangés en cercles. Le récipient de l'eau filtrée est en haut au lieu d'être en bas; il est assez grand pour que l'on puisse y trouver, à un moment donné, une notable quantité d'eau sans être obligé d'attendre que le filtre l'ait versée; il est entouré d'une double enveloppe dans laquelle on peut mettre des fragments de glace. Le robinet-bonde par lequel on prend l'eau filtrée a son ouverture entourée d'une coiffe destinée à empêcher les germes de l'air de s'introduire avec l'eau filtrée dans les vases que l'on remplit et aussi de former des colonies à la bouche du robinet. A la partie supérieure et latérale du réservoir, est placé un tuyau muni d'un robinet qui peut introduire de l'air dans le récipient quand l'écoulement de son contenu y a fait le vide ; cet air lui-même doit passer par un filtre à air, ou bien être remplacé par de l'acide carbonique, ce qui donne alors de l'eau gazeuse. Le compartiment dans lequel plonge les tubes et où par conséquent arrive l'eau à filtrer, est construit de telle sorte qu'à l'aide d'une flamme de gaz on puisse faire bouillir celle-ci, ce qui a pour but de nettoyer les tubes en porcelaine après un certain temps d'usage.

D'après Hesse, les filtres en porcelaine peuvent

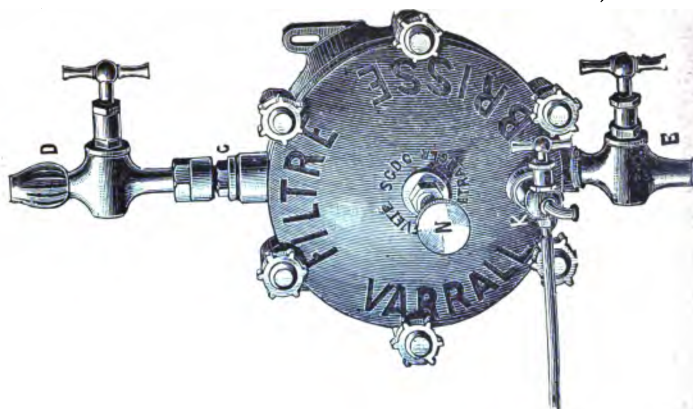
donner indéfiniment (nous verrons qu'il n'en est malheureusement pas ainsi) de l'eau stérilisée, lorsqu'ils l'ont fournie telle pendant quinze jours consécutifs. Dans ces conditions, ils sont préférables aux filtres d'amiante comprimée, dont le débit va rapidement en diminuant.

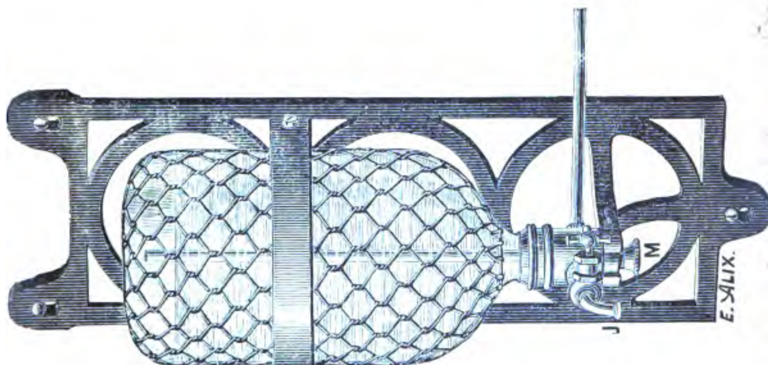
Filtre Varrall-Brisse (*Fig.* 23, 24 *et* 25).

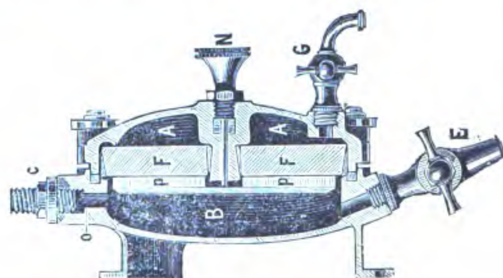
Il se compose d'un récipient circulaire d'environ 25 centimètres de diamètre, divisé en deux parties (réunies par des boulons) par un diaphragme en porcelaine FF. L'une de ces parties B qui constitue le compartiment postérieur est mise en communication avec la distribution de la ville au moyen d'un raccord C ; elle porte de plus, en bas, un robinet E qui permet d'avoir de l'eau non filtrée pour les besoins du ménage, lavages, etc. Le compartiment antérieur AA reçoit l'eau qui a été filtrée par son passage à travers le diaphragme en porcelaine et, comme il est complètement clos, l'air qu'il contient se trouve refoulé en haut, et par suite l'eau filtrée est sous pression; on peut la recueillir au moyen d'un robinet G disposé à cet effet, ou l'envoyer à l'aide d'un tube dans un réservoir en verre placé à côté.

La grande surface du disque filtrant permet un débit assez considérable : 8 litres environ à l'heure sous une pression de 1 kilogramme.

Le mode de nettoyage est la partie originale de cet appareil. Lorsqu'on tire de l'eau par le robinet du compartiment renfermant l'eau non filtrée, l'équi-







7.

libre de pression qui s'était établi entre les deux compartiments se trouve rompu, et alors l'eau filtrée repasse à travers le disque de porcelaine en sens inverse du courant habituel, et par suite produit un nettoyage dans les pores de la porcelaine.

Comme ce nettoyage automatique ne serait pas suffisant dans bien des cas, on peut, à l'aide d'un bouton N placé à l'extérieur, frotter la surface salie de la porcelaine au moyen de deux pierres P P qui sont reliées au bouton par une tige rigide passant dans un presse-étoupe; il suffit de tirer à soi le bouton pour assurer un contact puissant entre le disque filtrant et les pierres.

Filtre Berkefeld (*Fig.* 26, 27, 28 *et* 29).

Ce filtre utilise comme matière filtrante de la terre d'infusoires. On sait que le sol abandonné par les anciens golfes de la mer du Nord, est formé de débris d'infusoires, principalement de diatomées, c'est ce qu'on appelle en Allemagne, *terre d'infusoires*, *terre bacillaire*, *farine fossile* Or, on avait remarqué que, dans la lande de Lunebourg, l'eau qui sort des couches de terre bacillaire est d'un bleupur, tandis que celle des marais voisins est jaune. W. Berkefeld, de Celle, eut l'idée de construire avec cette terre siliceuse cuite, des filtres pour les usages domestiques et pour les laboratoires.

Certains de ces filtres ont tout à fait la forme

des filtres Chamberland et en sont une pure copie (*Fig.* 27), d'autres sont construits de telle façon



Fig. 26. — Coupe de la porcelaine en terre d'infusoires.



Fig. 27. — Filtre Berkefeld, filtrant de dehors en dedans.

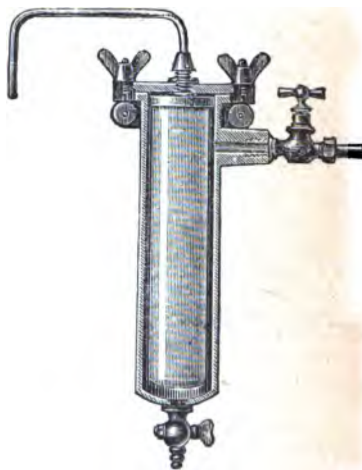


Fig. 28. — Filtre Berkefeld, filtrant de dedans en dehors.

que la filtration a lieu de dedans en dehors (*Fig.* 28). Enfin, il y en a dans lesquels des brosses mises en mouvement à l'aide d'une manivelle, permettent de nettoyer les bougies sans les extraire, ce qui est nécessaire parce qu'elles sont très fragiles (*Fig.* 29).

Enfin, on construit des bougies filtrant sans pression, et d'autres faites d'une pâte plus dense nécessitant une pression d'au moins deux atmosphères.

Comme ces bougies éclatent sous un courant de vapeur chaude, on est obligé, pour les stériliser, de les plonger dans l'eau froide qu'on porte peu à peu à l'ébullition, et on maintient celle-ci pendant environ trois quarts d'heures.

Le docteur Nordtmeyer, de Breslau, qui les a essayées, dit qu'elle donnent en général de l'eau pure de germes pendant quelques jours seulement ; au bout de six à sept jours, l'eau filtrée en renferme jusqu'à 500 par centimètre cube. Il fait cette remarque déjà faite par plusieurs expérimentateurs, que les proportions de bactéries de l'eau filtrée ne dépendent pas de celles de l'eau brute, mais de la végétation des microbes de celle-ci, à travers les parois du filtre,

Le docteur H. Bitter s'est servi de cet appareil pour filtrer des liquides bactériels et des liquides albumineux (bouillon putride, sérum du sang, lait, etc.), et dit en avoir été très satisfait.

Le docteur Prochnick, de l'armée hollandaise des Indes, Lübbert, à Dresde, Weyl, à Berlin, en font

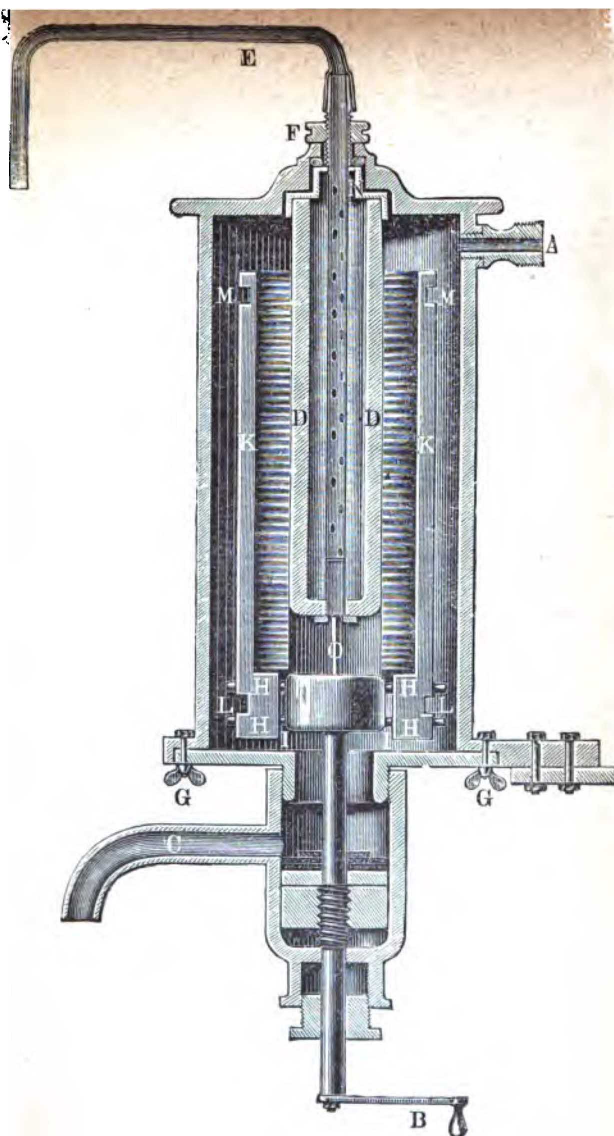


Fig. **29.** — **Filtre Berkefeld muni d'une brosse pour le nettoyage mécanique.**

aussi les plus grands éloges et le considèrent comme le meilleur filtre connu.

Enfin le docteur Kirchner l'a étudié avec le plus grand soin. Les bougies sans pression, opérant sur l'eau de Hanovre, qui est naturellement assez pure, ou bien n'ont jamais donné de l'eau parfaitemant stérile, ou bien ne l'ont fournie telle qu'irrégulièrement. Le nettoyage de l'appareil avec la brosse, au bout de quelques jours, élève la proportion des bactéries retenues et le rendement du filtre, mais l'amélioration dure peu. Kirchner introduisit entre le cylindre filtrant et le manchon métallique du bouillon renfermant une culture de bacillus subtilis, uue autre fois un bacille rouge spécial, le premier ne se montra dans l'eau filtrée que le quatrième jour, le second passa dès le premier jour.

Les modèles sans pression ne donnèrent de l'eau stérile que le premier jour, mais réduisirent notablement le nombre des bactéries pendant plusieurs jours.

Kirchner a fait passer sous une pression de 500 à 600 millimètres de mercure, 300.000 bacilles cholériques par centimètre cube au bout de 24 heures de fonctionnement, 600 staphylocoques dorés au bout de 25 heures et un nombre incalculable de bacilles typhiques après 72 heures, à la température de 17°.

On voit que les observateurs sont loin d'être d'accord. On en peut tirer les conclusions que les bougies ne sont pas toutes identiques à elles-mêmes, ce qui est, on l'avouera, un assez grave inconvé-

nient. Enfin ces bougies ont un débit assez faible, sont excessivement fragiles, et coûtent très cher (5 fr. 60 la bougie n° 1).

Filtre Mallié.

Ce filtre repose sur l'emploi de l'amiante, mais employée d'une façon spéciale qui en fait l'originalité. Au lieu de se servir d'une simple pâte d'amiante divisée, comprimée en plaques plus ou moins minces, comme tous les filtres à l'amiante connus jusqu'alors, on en fait par la cuisson une porcelaine poreuse, ce qui rapproche ces filtres des filtres Chamberland par exemple, la différence portant sur la nature de la matière première employée, asbeste au lieu d'argile.

Voici, d'ailleurs, comment s'exprime, au sujet de cette nouvelle porcelaine, l'auteur F. Garros, dans une note publiée dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences : « De toutes les fibres animales, végétales ou minérales, il n'en est pas qui présentent au microscope, un plus petit diamètre que celles de l'amiante ($0^{mm}00016$ à $0^{mm}00020$) ; ces fibres, mises en poudre, devaient facilement produire des particules extrêmement petites. J'ai donc pensé que si, sans addition de corps solides étrangers, j'arrivais à agglomérer ces particules, la matière ainsi formée devait posséder des pores extrêmement petits et extrêmement nombreux à cause de cette petitesse

d'abord et ensuite, à cause de la facilité que l'on a de se procurer ce minéral pur (1).

La composition chimique de l'amiante (silicate de magnésie et de chaux) m'a porté à croire qu'une poudre ainsi composée devait former avec l'eau une pâte plastique qui, par la cuisson dans des conditions spéciales, devait fournir une matière poreuse ayant une certaine dureté. C'est cette dernière matière que je désigne sous le nom de *porcelaine d'amiante*.

L'amiante employée jusqu'à ce jour, fibres, papier, carton, mastic, difficile à pulvériser dans un mortier, est facilement réduite en poudre impalpable au moyen des appareils employés dans l'industrie. La poudre présente, suivant la pureté de l'amiante employée, une couleur très blanche ou légèrement jaunâtre, coloration due à des traces de fer, qu'il est facile de faire disparaître par un lavage à l'acide sulfurique ou chlorhydrique, et par un lavage ultérieur.

Avec la poudre ainsi préparée on fait une pâte. Dans ce but, on ajoute suffisamment d'eau pour couvrir la poudre et l'on malaxe fortement de façon à avoir un mélange très homogène, que l'on étend d'eau ensuite en ayant soin d'agiter. Lorsque la consistance est convenable, on malaxe à nouveau et on donne à la pâte par tournassage, moulage ou

(1) On a vu que ce sont précisément les idées qui avaient guidé Fr. Breyer dans la confection de son filtre à micro-membrane, et à sa suite tous les inventeurs des autres filtres à amiante.

coulage (on emploie pour les filtres ce dernier procédé faisant éviter toute soufflure et donnant plus d'homogénéité) la forme des objets que l'on veut façonner ; aprés quoi, on porte ces objets dans des étuves légèrement chauffées où ils sèchent très lentement. On les cuit ensuite en casette, pendant dix-sept à dix-huit heures et on chauffe à une température de 1200°. En chauffant à une température très élevée (1700°) on obtient une porcelaine d'une

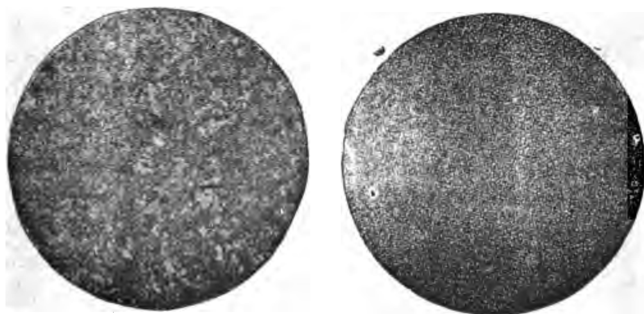


Fig. 30. — Porcelaine d'argile. *Fig.* 31. — Porcelaine d'amiante

translucidité comparable à celle de la porcelaine ordinaire.

J'ai déjà dit que, en raison de la petitesse des particules qui constituent la poudre d'amiante, on devait obtenir, dans des conditions spéciales de cuisson, une matière à pores infiniment petits et nombreux. En conséquence, dans la porcelaine d'amiante et dans la porcelaine ordinaire dégourdie, j'ai fait des coupes microscopiques (*Fig.* 30 *et* 31). J'ai pu constater en les examinant, que les pores de la porcelaine

d'amiante étaient beaucoup plus petits que ceux de la porcelaine ordinaire, de même qu'elle est plus homogène que cette dernière. Une expérience permet de vérifier et fait voir, avec d'autres observations, que les pores de la porcelaine d'amiante, contrairement à ceux de la porcelaine ordinaire, ne se laissent pas pénétrer à une certaine profondeur par les microorganismes ; lorsque la porcelaine d'amiante a servi à filtrer pendant très longtemps, il suffit, pour lui rendre son débit primitif, de la laver avec une éponge imbibée d'eau chaude.

Ces avantages m'ont fait penser à utiliser cette nouvelle matière pour la filtration et la stérilisation des liquides.

On constate que l'eau est filtrée plus rapidement qu'avec la porcelaine ordinaire. D'autres expériences comparatives sur la filtration des vins, vinaigres, acides, ont également montré que ces différents liquides, après filtration à travers la porcelaine d'amiante, n'ont pas été modifiés dans leur composition chimique. »

Ces filtres en porcelaine d'amiante ont été soumis à un certain nombre d'essais, surtout au point de vue bactérien.

Les docteurs R. Durand-Fardel et Bordas ont obtenu les résultats suivants : 1° Un centimètre cube d'eau de la Vanne non filtrée contenant 1200 colonies, un centimètre cube de la même eau filtrée n'en a pas donné une seule dans les cultures sur plaque de gélatine après six jours d'observation et plus ; 2° un cobaye inoculé avec un bouillon de culture de

Bacillus anthracis est mort au bout de 36 heures; un second cobaye inoculé avec la même culture filtrée n'a accusée aucun trouble fonctionnel; 3° une culture de bacille typhique fut, après filtration, absolument stérile; 4° un liquide tenant en suspension de la levûre de bière soumis à la filtration, ne contenait plus de globules de levûre et était néanmoins susceptible de permettre à de nouvelles générations de levûre de se développer par un nouvel ensemencement; 5° du vin après filtration présenta la même composition chimique que le vin primitif.

Enfin, après six semaines de filtration continue, l'eau était absolument stérile.

Au Laboratoire municipal de Paris, le résultat fut le même; l'eau non filtrée donnant 600 colonies par centimètre cube, l'eau filtrée en donna 0; les numérations étaient faites le huitième jour de l'ensemencement.

Dans un Rapport présenté à l'Académie des Sciences, le professeur A. Gautier dit que le Chef du service micrographique du laboratoire municipal de Montsouris lui a confirmé qu'il a pu, avec ces filtres d'amiante, obtenir, avec des eaux de l'Ourcq très chargées en microbes et matières organiques, des liqueurs complètement stériles, même après le douzième jour de filtration, alors que toute autre paroi poreuse est incapable de donner pendant plus de quarante-huit heures des liqueurs stériles avec des eaux vaseuses ou stagnantes.

Cette porcelaine d'amiante filtrerait sans pression appréciable, puisque son débit par centimètre carré

sous une petite colonne d'eau de 10 centimètres de hauteur est de 1 gr. 105 à l'heure, ce qui équivaut à 125 grammes pour une boule de 6 centimètres de diamètre. De plus cette même boule, après un fonctionnement d'un mois et demi sous une pression de 40 mètres d'eau, fournirait, après un simple lavage superficiel avec une éponge, aussi bien que lorsqu'elle est neuve, 8 litres d'eau stérilisée par heure sous une pression de 40 mètres, et environ 100 litres dans 24 heures.

Si toutes les propriétés précédentes sont vérifiées par un emploi prolongé (car les essais ne datent pas encore de deux ans) si, à l'usage, on ne constate pas d'inconvénients que des essais de laboratoire faits par des hommes expérimentés et attentionnés et encore trop peu nombreux n'ont pu mettre en évidence, telle par exemple qu'une trop grande fragilité (on conçoit que la moindre fissure rendrait un filtre hors d'usage, ce qui arrive précisément pour les filtres Berkefeld), il faut convenir que, comme le dit l'inventeur, ce filtre en porcelaine d'amiante l'emporterait sur tous les autres, puisque ses pores seraient assez petits pour arrêter tous les microbes et, ne se laissant pas pénétrer par eux, non plus à fortiori que par les autres particules en suspension dans l'eau, ne s'encrasserait pas.

Mais il faut malheureusement se rappeler que l'apparition de chaque nouveau filtre est escortée de promesses analogues, confirmées par toute une série d'essais absolument confirmatifs, ainsi que

nous l'avons vu chemin faisant. Autre chose est de faire quelques exemplaires parfaits, ou d'établir une fabrication courante donnant des produits toujours identiques à eux-mêmes. Il faut donc attendre avant de se prononcer définivement.

Il ne nous reste plus qu'à indiquer les formes données aux différents modèles de filtres Mallié.

Le premier filtre, désigné sous le nom de *Aéri-filtre Mallié*, qui date d'une dizaine d'années, ne semble pas avoir été fait avec de la porcelaine d'amiante, bien qu'on indiquât dès cette époque qu'on se servait d'une porcelaine préparée d'une façon spéciale, car il n'a été question de la porcelaine d'amiante que dans ces dernières années.

Ce premier modèle, qu'on trouve toujours dans le commerce, mais construit aujourd'hui probablement avec de la porcelaine d'amiante, se compose (*Fig.* 32 *et* 33) d'un cylindre en porcelaine terminé en cône à la partie inférieure; la partie supérieure qui est seule ouverte est reliée, par une fermeture à baïonnette, à une armature en métal laquelle se visse sur un robinet placé sur la conduite de distribution, comme dans le filtre Chamberland ; mais l'eau arrive directement du robinet dans l'intérieur du cylindre filtrant au moyen d'un tube en métal qui traverse l'armature, de sorte que l'eau filtre de l'intérieur à l'extérieur, disposition qui n'est pas heureuse parce qu'elle ne facilite pas les nettoyages et que les saletés viennent s'accumuler dans l'intérieur du cylindre filtrant. Ce cylindre en porcelaine est enfermé dans un cylindre en cristal, terminé aussi en cône, la par-

tie inférieure du cône ayant la forme d'une tétine percée d'un trou par lequel s'écoule l'eau filtrée dans un réservoir placé au-dessous. Il est évident que c'est ce manchon en cristal destiné à laisser voir le cylindre filtrant, qui a poussé l'inventeur à opérer la filtration de dedans en dehors ; il a voulu que la surface extérieure destinée à être vue, fût toujours propre.

Dans le cas où la pointe du cône filtrant se détacherait, il y a une tige rigide qui repose par une boule sur le fond de celui-ci, et dont l'extrémité supérieure formerait soupape sur l'ajutage d'entrée de l'eau dans le cylindre poreux. On ne voit pas bien l'utilité de cette complication, puisqu'on peut voir facilement l'état de ce cône.

Enfin, l'armature métallique qui retient tout le filtre est agencée de telle sorte qu'il y a toujours une petite provision d'air comprimé, emprisonné sous elle ; cet air est destiné, dans l'esprit de l'inventeur, à aérer l'eau filtrée, d'où le nom d'*aéri-filtre* donné à ce premier modèle de filtre ; d'ailleurs cet air forme tampon pour amortir les coups de bélier.

Ce filtre fonctionne sous pression et nécessite une petite pompe, lorsque l'on n'a pas à sa disposition une canalisation d'eau sous pression.

Depuis ce modèle primitif, datant d'une dizaine d'années, la maison qui fabrique ces filtres emploie aujourd'hui, comme je l'ai dit, de la porcelaine d'amiante, ce qui lui permet, étant données les propriétés de cette substance, de faire des filtres fonctionnant avec ou sans pression. Les modèles se ré-

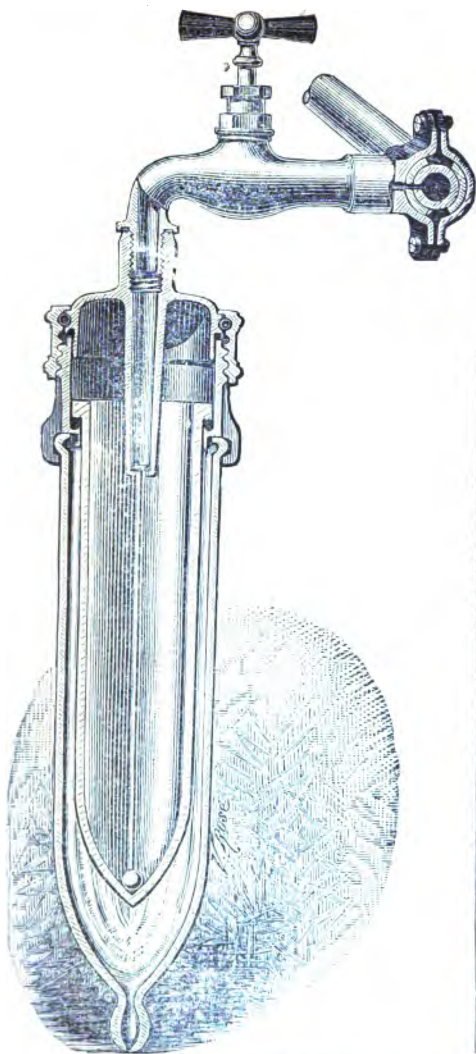


Fig. 32. — Aéri-filtre Mallié (coupe).

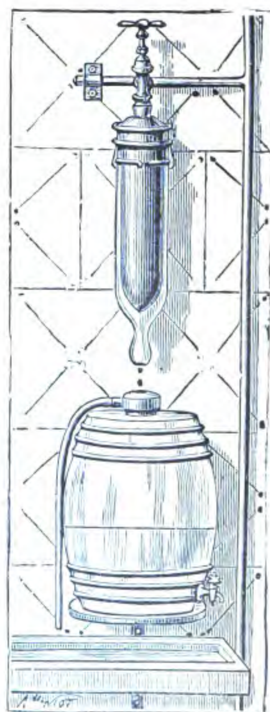


Fig. 33. — Aéri-filtre Mallié (vue extérieure).

duisent à deux formes en principe : la forme cylindro-conique que je viens de décrire et désignée sous le nom de *bougie*, et la forme sphérique, appelée *boule*.

Bien que continuant à fabriquer le filtre primitif, l'aéri-filtre, l'inventeur a compris la nécessité de le sim-

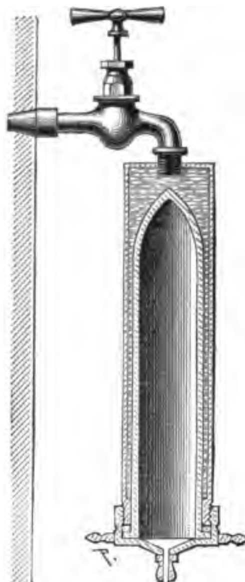


Fig. 34. — Filtre Mallié avec pression.

plifier. Dans certains modèles avec pression (*Fig.* 34), la bougie est placée la pointe en haut et par conséquent l'ouverture en bas et enfermée dans un manchon métallique, absolument comme la bougie Chamberland ; la filtration a donc lieu aussi de dehors en dedans. Si on opère sans pression, la bou

gie est renversée (*Fig.* 35) et l'eau filtre de dedans en dehors. Il n'y a plus, dans l'un et l'autre cas, d'armature enfermant de l'air comprimé, etc.



Fig. 35. — **Filtre Mallié sans pression.**

Quant aux boules, ce sont des sphères (*Fig.* 36) terminées par un col étroit servant à l'écoulement de l'eau, ces boules sont enfermées dans un manchon métallique (*Fig.* 37 *et* 38) dans lequel arrive l'eau à filtrer qui passe de dehors en dedans.

Ces modèles de grandeurs différentes peuvent se réunir en batteries capables de donner un grand débit.

Dans le cas où l'eau aurait besoin d'être épurée



Fig. 36.



Fig. 37.

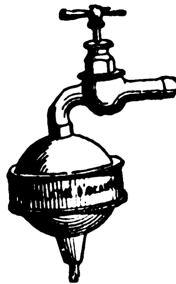


Fig. 38.

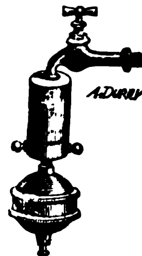


Fig. 39.

avant sa filtration, on place entre le robinet d'alimentation et le filtre un cylindre *épurateur* (*Fig.* 39), contenant du sable, de la laine de verre, etc., destinés à arrêter les grosses impuretés de l'eau, ou du charbon, du fer spongieux, etc., pour agir sur la com-

position chimique de l'eau. Il est clair que cette addition au filtre n'a rien de particulier à celui-ci et peut être adoptee avec tous les filtres; nous avons vu que les bougies Chamberland peuvent aussi recevoir des réactifs épurateurs, comme dans le filtre militaire de campagne.

En résumé, si ce filtre tient bien ses promesses, ce sera certainement l'un des meilleurs qui aient été proposés jusqu'à présent; je crains seulement, comme pour le filtre Berkefeld, sa trop grande fragilité et la délicatesse de sa fabrication.



III. — Nettoyage et stérilisation des filtres.

Quel que soit le filtre employé, il arrive toujours un moment où il s'encrasse par suite de l'accumulation des particules en suspension dans l'eau qui sont arrêtées sur la surface de la matière filtrante et qui même pénètrent dans ses pores. Il en résulte la diminution de plus en plus grande du débit; n'y aurait-il que ce seul inconvénient qu'il suffirait à imposer la nécessité d'un nettoyage. Mais nous verrons qu'il y a quelque chose de plus grave, c'est le passage à travers un filtre encrassé des microbes que ce filtre était destiné à retenir.

Puisque la nécessité d'un nettoyage périodique s'impose dans tout appareil filtrant, on conçoit que les constructeurs se soient tous préoccupés de ce

point important; et l'on a pu voir dans le paragraphe précédent que c'était le mode spécial de nettoyage qui caractérisait certains filtres.

Je n'ai pas l'intention de rappeler ces différents modes de nettoyage, je voudrais seulement décrire l'ingénieux appareil de nettoyage mécanique que l'ingénieur O. André a appliqué à la bougie Chamberland, d'abord parce que ce dernier filtre est de beaucoup le plus répandu en France, et parce qu'il a permis de faire un certain nombre de travaux qui ont apporté quelque lumière dans le mode de fonctionnement des filtres en général, et des filtres en porcelaine en particulier.

Nettoyeur mécanique O. André appliqué aux bougies Chamberland.

Nous avons exposé plus haut les heureux résultats obtenus à l'aide du filtre Chamberland; mais, comme le dit le docteur Netter dans son rapport au Comité consultatif d'hygiène publique de France, « il offre malheureusement un certain nombre d'inconvénients inhérents à sa constitution : 1° son débit est assez lent, surtout quand l'eau est trouble et quand la pression est faible; 2° le débit initial se réduit rapidement et l'appareil a besoin de nettoyages fréquents; 3° ces nettoyages exigent des précautions assez grandes en raison de la fragilité des bougies; 4° les fractures ou fissures qui peuvent se produire au cours de ces nettoyages et qui annu-

lent complètement l'effet utile du filtre sont difficiles à reconnaître et il peut résulter de grands inconvénients de la sécurité illusoire que semble donner l'emploi de ces filtres. Ces inconvénients ont été maintes fois constatés et proclamés. Ils ont eu pour conséquence une opinion que nous entendons souvent formuler et qui est la suivante : le filtre Chamberland est excellent quand il s'agit d'obtenir une faible quantité d'eau et quand on opère sur une eau de bonne qualité. Il ne convient pas quand il faut le confier à des personnes peu soigneuses et maladroites. »

Pour obvier à ces difficultés, l'ingénieur O. André s'est préoccupé de créer un filtre sous pression, dont la bougie Chamberland continue à constituer l'organe filtrant, et qui fût en même temps pourvu d'un nettoyeur mécanique, présentant les conditions de fonctionnement suivantes : facilité de manœuvre, permettant à qui que ce soit de la répéter à volonté ; durée très faible (quelques minutes pour un nettoyage complet de 25 à 50 bougies) ; suppression de toute chance de bris ou de fêlure des bougies ; enfin, pour le cas où un accident de ce genre se produirait, possibilité de s'en rendre compte à tout moment.

Description du filtre (*Fig.* 40, 41 *et* 42). — Les bougies B, quel qu'en soit le nombre, sont placées sur deux, trois, quatre ou cinq rangs concentriques et espacées d'environ 6 centimètres en tout sens ; elles sont fixées par des tubes en caoutchouc assu-

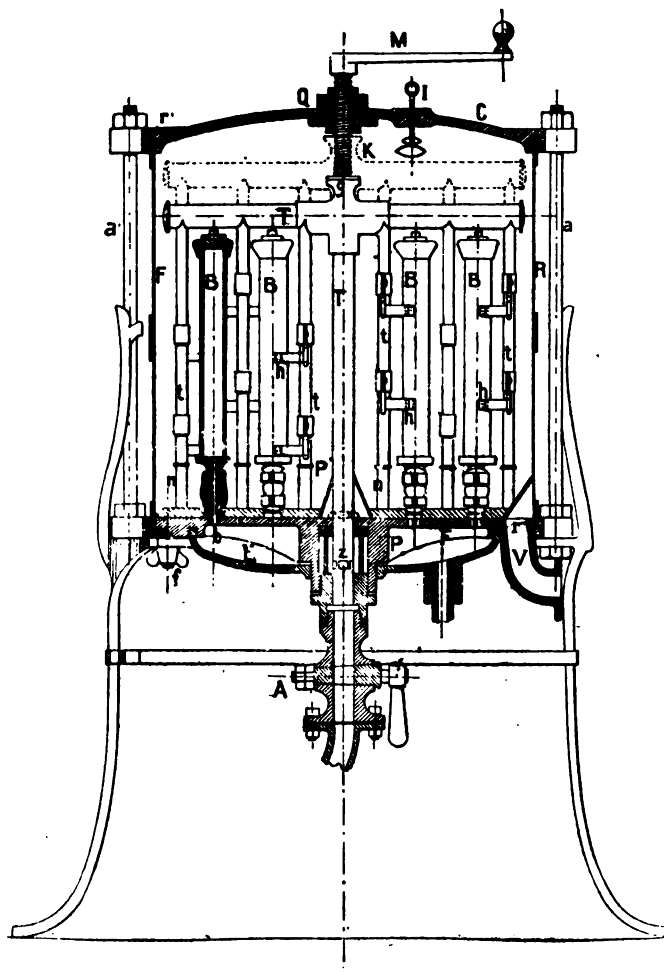


Fig. 40. — Filtre Chamberland, système Pasteur à nettoyeur mécanique O. André, coupe verticale.

jettis, à l'aide de petits colliers métalliques, sur des tétons en bronze b, montés à bloc sur le plateau de fond F.

Le parallélisme des bougies est assuré par des anneaux métalliques N, percés de trous, où s'engage la chape supérieure de chacune d'elles; cette

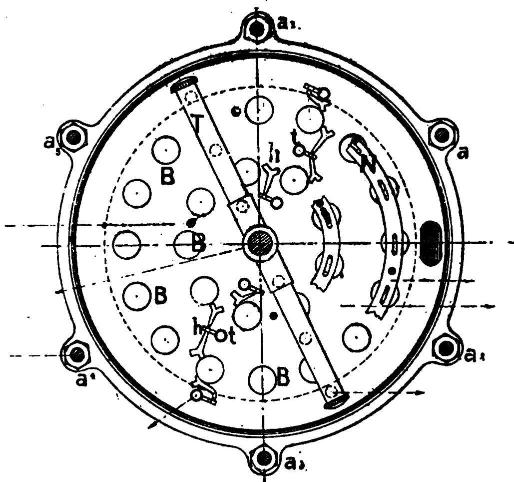


Fig. 41. — **Le même, coupe horizontale.**

chape est constituée par une calotte en caoutchouc, que termine une petite tige d'ébonite.

Le plateau de fond F et le couvercle C sont pourvus d'une rainure annulaire, garnie de caoutchouc, un cylindre R en tôle d'acier galvanisé, ouvert aux deux extrémités, s'engage dans les rainures et les boulons, a, a^1, a^2, etc., assurent l'étanchéité du récipient, qui est en même temps très facile à démonter.

Au milieu du plateau F se trouve un orifice avec robinet d'admission A, qui met le filtre en communication avec l'eau sous pression qu'il s'agit de filtrer, V est un robinet de vidange. Sur le plateau supérieur se trouve une vanne I qui permet la rentrée de l'air pendant la vidange et l'introduction des adjuvants dans le filtre.

L'eau arrivant sous pression par le robinet A remplit l'appareil, la pression s'exerce sur les bougies de dehors en dedans, l'eau traverse les parois, et les impuretés solides de toute nature restent en dehors, l'eau filtrée s'échappe par 25, 50 jets directs, à travers le plateau de fond, et se réunit dans un collecteur annulaire E.

Si l'eau filtrée doit être conduite à distance ou refoulée, ce collecteur doit faire joint sous le fond F. A cet effet, son bord supérieur pénètre dans la rainure caoutchoutée r ; un mouvement d'élévation et de rotation à baïonnette engage les écrous du collecteur f f; en serrant ces écrous, on fait à la fois le joint haut r' et le joint bas du collecteur autour de l'axe du fond. Cette disposition permet, en outre, de contrôler aisément la marche du filtre à un moment quelconque. En abaissant momentanément le collecteur on voit, en effet, tous les jets, et si l'un d'eux paraît trop fort, on remplace la bougie suspecte ou, si on le préfère, on l'élimine simplement par une petite vis qui s'engage dans l'extrémité inférieure du téton.

Description du nettoyeur. — Cet organe en forme de peigne se déplace par un mouvement de rotation

entre les rangs des bougies. Dans ce mouvement de rotation alterné à droite et à gauche et combiné avec un mouvement vertical alternatif, tous les points des bougies sont touchés successivement par une palette souple en caoutchouc et par un jet cinglant, qui débarrassent chaque bougie de toutes les impuretés qui la couvrent, et lui rendent la puissance filtrante, comme il sera expliqué plus loin.

Le nettoyage se compose donc d'un tube en T dont la branche verticale s'engage dans le presse-étoupes central P. du plateau de fond. Cette branche se prolonge par une tige filetée passant par l'écrou du couvercle et reçoit la manivelle M. La course de la vis K, d'environ 6 centimètres, est limitée en haut par l'embrase g, qui vient former joint sous l'écrou. La paroi du tube central est percée d'une couronne de trous Z disposés de telle sorte qu'ils sont démasqués pendant que le filtre fonctionne, et qu'ils disparaissent dans le presse-étoupes dès que le nettoyage commence. La barre horizontale du T, fermée aux deux bouts, porte des tubes pendants t,t, en nombre correspondant aux rangs des bougies. Ces tubes de $0^{m}22$ de long et de $0^{m}012$ de diamètre extérieur, sont fermés à leur partie inférieure et percés diamètralement de quatre trous de petit calibre, espacés de 5 centimètres; au droit de chaque trou est fixé un petit frottoir élastique h en forme d'Y.

Voici comment le nettoyage s'opère : on ferme l'admission A, on ouvre la vidange V et le tuyau T, le récipient se vide. On rouvre l'admission, puis en tournant la manivelle, les lumières du tube vertical

disparaissent dans le presse-étoupes. L'eau d'admission arrive alors dans les tubes pendants t, t, et s'en échappe en jets cinglants qui, grâce au mouvement héliçoïdal du système, touchent successivement



Fig. 42. — **Filtre Chamberland, système Pasteur à nettoyeur mécanique O. André.**

tous les points des bougies. Les frottoirs agissent en même temps, c'est-à-dire que la partie externe d'une branche de l'Y touche successivement en descendant un quart de la circonférence des bougies,

et en remontant la seconde branche touche l'autre quart. Après avoir tourné la manivelle, tous les points de toutes les bougies ont été touchés.

On peut, suivant l'encrassement, faire deux ou trois passes, puis on ferme le robinet de vidange, le récipient se remplit et la filtration recommence.

Comme l'expérience avait montré que malgré les jets cinglants et les frottoirs en caoutchouc, le nettoyage n'était pas assez parfait pour empêcher le débit de diminuer assez rapidement, et que d'autre part l'emploi de brosses dont on avait armé les frottoirs n'avait pas donné de bons résultats, parce que trop douces elles s'usaient rapidement ou trop dures elles reportaient l'usure sur les bougies, l'ingénieur O André eut l'idée de confier le rôle de « racleur « non plus à un appareil fixe doué d'une certaine dureté, mais plutôt à des particules d'une substance quelconque (pourvu qu'elle fût inerte par rapport à l'eau), en déterminant par l'agitation imprimée à la masse du liquide dans lequel elles se trouvaient, le *roulement* de ces particules sur les bougies. En même temps, il imaginait d'augmenter la constance relative du débit en créant également à l'aide de particules tenues en suspension dans le liquide à filtrer, une sorte de *gaîne perméable* sur les bougies, cette gaîne devant les protéger contre le contact intime des dépôts mucilagineux. Dans ces conditions, l'usure ne serait à craindre ni pour les bougies, ni pour les palettes élastiques, et se réduirait à celle des substances introduites, dont la dépense est insignifiante et le remplacement facile.

Ces idées ont été réalisées de la manière suivante : on introduit par un tampon à vis de $0^{m}03$, placé sur le couvercle une charge de grenailles de liège qui flottent sur le liquide. L'axe central est garni à sa partie inférieure d'un tamis cônique P, à trous de 1 millimètre, de façon à empêcher la grenaille de liège de passer dans le nettoyeur ; l'orifice du purgeur est également protégé par un tamis de grande section P.

Au moment d'introduire l'eau, on verse par le tampon à vis I de 5 à 20 grammes d'une poudre, dite *poudre d'entretien* (poussier de bois, sciure de bois blanc, etc., ou toute autre matière inerte et se rapprochant de la densité de l'eau).

Le filtre étant mis en pression, après avoir donné quelques tours de manivelle du nettoyeur pour mélanger la poudre introduite, la filtration commence. Les parties légères attirées par les bougies, viennent former à leur surface une gaine de protection très perméable sur laquelle se dépose la plus grande partie des mucilages contenus dans l'eau.

Pour le nettoyage, on arrête la pression, on laisse échapper un peu d'eau par le purgeur, puis on tourne la manivelle du nettoyeur successivement dans les deux sens. Les tubes du nettoyeur mettent en mouvement les grains de la poudre d'entretien qui remplissent bientôt tout l'appareil ; ils frottent en passant sur les bougies, et les frottoirs en caoutchouc, les appliquent contre elles au passage, de manière à obtenir un nettoyage très rapide et très complet. On ouvre ensuite la vidange ; l'eau chargée de la

poudre, ainsi que de toutes les impuretés détachées de la surface des bougies, passe par le tamis de protection. Les grenailles de liège restent dans l'appareil et servent indéfiniment jusqu'à ce qu'elles soient usées par le frottement.

Le filtre étant vidé, on rince à purgeur ouvert ; on referme le purgeur et on introduit par le tampon la poudre d'entretien, puis on recommence la filtration.

Modifications apportées à l'appareil. — L'arrivée de l'eau au lieu de se faire au centre du collecteur, débouche par un ajutage spécial placé latéralement ce qui rend l'installation de l'appareil plus facile ainsi que les manœuvres d'ouverture et de fermeture. D'autre part, lorsqu'on veut examiner le débit de chaque bougie pour constater leur intégrité, on peut enlever la calotte inférieure du collecteur, sans être obligé d'arrêter complètement l'arrivée de l'eau sous pression ; en tout cas, cela est beaucoup plus commode.

Au lieu d'un tampon à vis pour l'introduction de la poudre d'entretien, c'est une simple plaque qui, grâce à un caoutchouc, produit fermeture hermétique.

Les tamis de protection ont été supprimés, ce qui est une simplification ; on a reconnu qu'il était préférable de perdre à chaque nettoyage la grenaille de liège qui est d'un extrême bon marché. D'ailleurs, à la suite des observations de Lacour et des miennes, on a renoncé complètement à l'emploi de

cette grenaille, pour ne plus conserver que la poudre d'entretien.

L'appareil est muni d'uue épaisse glace permettant de voir les bougies placées à l'intérieur. On a même construit des filtres dont l'enveloppe est entièrement en verre.

Une autre et toute récente simplification a encore été appliquée. Au lieu des deux petits colliers métalliques, serrés à l'aide de deux vis, qui fixaient, par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc, les tétons en porcelaine des bougies Chamberland sur les tétons en bronze montés à bloc sur le plateau de fond; on se sert aujourd'hui d'un simple tube en caoutchouc très épais et par suite d'un très faible diamètre intérieur muni d'un rebord à chacune de ses extrémités et d'un étranglement au milieu. On supprime donc les deux colliers métalliques et les deux vis, ce qui abrège singulièrement la manœuvre du montage.

Enfin on a conseillé de placer sur la conduite d'alimentation avant le robinet d'admission dans le filtre, un régulateur de pression dû à Samain et André qui permet d'avoir dans l'appareil une pression toujours égale, ce qui évite les coups de bélier ou les trop hautes pressions qui ont l'inconvénient de fêler quelquefois les bougies. L'emploi de ce régulateur devient indispensable si l'on admet avec Lacour que l'irrégularité et la trop grande élévation de la pression doivent être incriminées au sujet du passage des microbes au travers des bougies.

Filtres de différents modèles. — Il se construit des filtres de 3, 6, 15, 25 et 50 bougies.

Lorsqu'on veut un débit plus considérable encore, on assemble en batterie un plus ou moins grand nombre de filtres à 50 bougies. C'est ainsi qu'au Grand-Hôtel de Paris on a réuni 6 filtres de 50 bougies pouvant donner 12.000 litres d'eau en 24 heures, et afin de rendre la manœuvre du nettoyage plus rapide, on a dû établir un système de transmission dépendant d'une commande générale qui permet à l'aide d'une seule manivelle de faire tourner en même temps et symétriquement tous les nettoyeurs (*Fig.* 43).

On a aussi appliqué ce système à des fontaines publiques filtrantes ayant l'aspect de grandes colonnes renfermant à l'intérieur le filtre et le réservoir d'eau filtrée. Ou bien le tout est placé dans une cavité creusée en terre et dissimulée par une plaque en fonte mobile, au dessus de laquelle est installée une borne-fontaine.

Les réservoirs à eau filtrée sont munis d'une fermeture à joints hermétiques empêchant les microbes de l'air de pénétrer à l'intérieur. Lorsqu'on tire de l'eau par le robinet placé à la partie inférieure, l'air extérieur ne rentre dans le réservoir qu'après avoir traversé une petite boîte dans laquelle un dispositif ingénieux filtre cet air.

Lorsqu'on ne dispose que d'une pression faible ou très variable, on adapte, sur le filtre même ou à proximité, une pompe à double effet très robuste (*Fig.* 44), qui permet d'obtenir très rapidement et de

maintenir sans effort dans le récipient une pression de 20 à 25 mètres d'eau. Ce système permet de puiser aux appareils comme à une pompe au fur et à mesure des besoins et peut même dispenser de l'installation d'un réservoir lorsqu'on doit employer à un instant donné seulement une certaine quantité d'eau. Ces conditions sont celles que doivent remplir les filtres de campagne pour l'armée ; or, aujourd'hui ces appareils y sont couramment employés, ainsi qu'en témoigne la note ministérielle relative à l'installation et à l'entretien des Filtres Chamberland, système Pasteur, à nettoyeur mécanique O. André, dans les établissements militaires (Extrait du Bulletin officiel, partie réglementaire, 1er semestre 1892 n° 21). Ces conditions se présentent également pour les services auxiliaires des hôpitaux, les infirmeries des lycées, casernes, etc.

Résultats obtenus. — A l'aide d'un diagramme représentant par des courbes les débits obtenus, sous une pression identique de 20 mètres, à la suite de chacun des perfectionnements apportés à son appareil, O. André montre d'une manière saisissante l'utilité de ces perfectionnements.

Dans son très intéressant Rapport au Comité consultatif d'hygiène de France, le docteur Netter insiste sur les points suivants : 1° l'importance qu'il faut attacher à *l'isolement des bougies*, ce qui permet d'aveugler celles qui seraient fêlées ; 2° l'utilité des *jets cinglants ;* 3° la substitution des *peignes en caoutchouc* aux éponges et aux brosses en crin ;

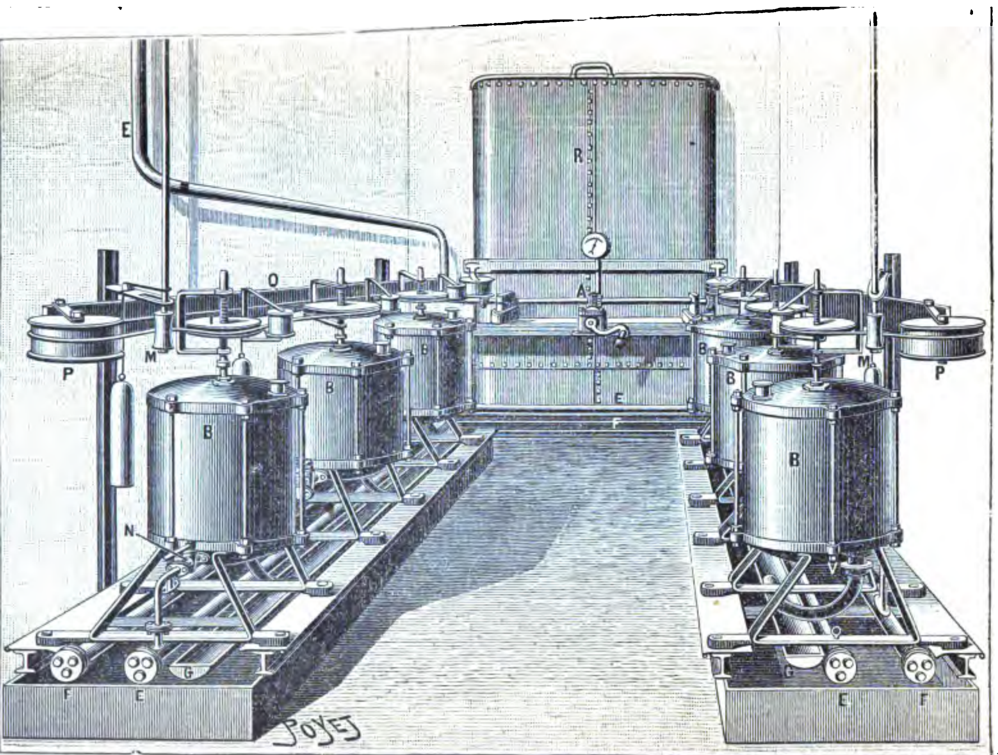


Fig. 43. — Filtre Chamberland, système Pasteur, à nettoyeur mécanique, installé au Grand-Hôtel.

4° mais surtout l'usage de la poudre d'entretien, dont les particules très fines viennent enrober la bougie; il en résulte que ces pores s'obstruent moins vite et partant que le rendement reste plus élevé.

Il a aussi fait une étude bactériologique de cet appareil en introduisant à l'intérieur du récipient une certaine quantité de culture de bacille pyocanique dont la recherche est extrêmement facile. Jamais il ne l'a retrouvé dans l'eau sortant filtrée de l'appareil.

En résumé, voici les conclusions de ce rapport, conclusions approuvées par le Comité consultatif d'hygiène publique de France, dans sa séance du 2 Mars 1891 ;

L'appareil André facilite très manifestement l'emploi du filtre Chamberland.

Il écarte les chances de brisement des bougies et permet de confier leur nettoyage aux mains les plus inexpérimentées.

L'usure des bougies est insignifiante, même après un travail de deux ans.

L'appareil accroît d'une façon remarquable le rendement de ces bougies.

Il permet d'obtenir un débit satisfaisant quand il travaille sous préssion,

Ce rendement est encore élevé lorsque l'eau qui doit être épurée présente une proportion notable d'impureté.

Enfin, le prix de revient du litre d'eau fourni par cet appareil est inférieur à un demi-millime, au dire de l'inventeur.

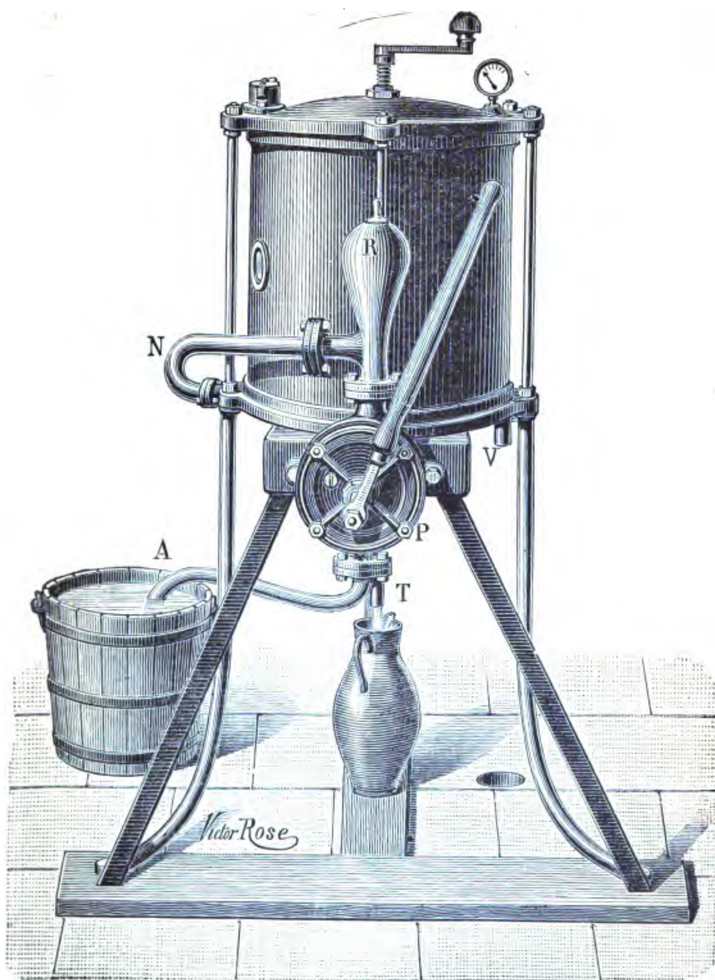


Fig. 44. — **Filtre Chamberland, système Pasteur à nettoyeur mécanique O. André, et muni d'une pompe aspirante et foulante.**

Expériences personnelles sur le filtre Chamberland.

Depuis quelques années, un grand nombre de travaux tendent à établir que tous les filtres finissent par laisser passer des microbes; c'est surtout sur le filtre Chamberland qu'ont porté la plupart des expériences, précisément parce qu'il est considéré comme le meilleur filtre connu.

Je vais d'abord décrire les expériences que j'ai faites sur le filtre Chamberland, et je résumerai ensuite les principaux travaux auxquels je viens de faire allusion en m'aidant surtout de la si complète et si lumineuse revue critique intitulée « Stérilisation de l'eau » et publiée par J. Arnould dans la *Revue d'hygiène* de juin 1893.

C'est à l'aide de filtres Chamberland, système Pasteur, à nettoyeur mécanique O. André, que j'ai fait ces expériences; je me suis servi d'appareil à 6 bougies.

Dans une première série d'expériences j'ai employé un seul appareil; et, plus tard, deux appareils semblables accouplés de la façon suivante, permettant de faire passer au même moment la même eau dans les deux appareils, ce qui rendait les expériences comparatives (*Fig.* 45) :

La conduite d'eau alimentant chaque appareil était munie d'un robinet d'arrêt et d'un manomètre. Enfin, l'eau venant de la conduite générale traversait un régulateur de pression Samain et André avant de pénétrer dans les filtres. De cette façon

l'eau qui traversait ceux-ci était toujours à une pression parfaitement déterminée. Les conditions se trouvant identiques pour les deux appareils, il m'a

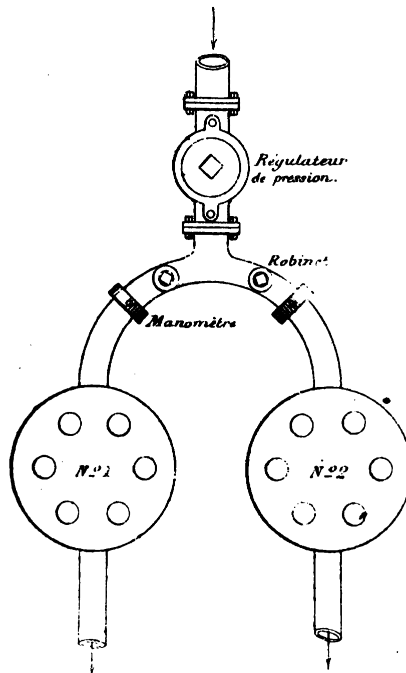


Fig. 45.

été possible d'apprécier ainsi l'influence de certains agents ou de certaines manipulations sur la filtration de l'eau, comparativement à cette filtration à travers des bougies Chamberland installées comme elles le sont d'habitude.

Les expériences ont duré plusieurs mois.

Bien que différents expérimentateurs et surtout l'usage déjà prolongé aient démontré l'immense avantage du nettoyeur André pour la rapidité du débit des bougies Chamberland, je crois qu'il n'est pas sans intérêt de donner les chiffres que j'ai obtenus, parce qu'ils l'ont été dans des conditions de comparaison parfaite. On sait, en effet, que l'eau d'une même origine voit son débit varier considérablement avec les saisons ou même les heures d'une même journée, suivant son plus ou moins grand état de limpidité. Dans mes expériences l'eau arrivant par une conduite unique et se bifurquant dans les deux appareils jumeaux, cette cause d'erreur est complètement annihilée.

Les deux appareils sont munis de bougies neuves préalablement essayées (1) en les plongeant dans de l'eau bien limpide et en y injectant de l'air sous pression ; celui-ci sort à l'état de bulles s'il y a la moindre fissure.

L'appareil n° 1 a fonctionné pendant la durée de l'expérience sons addition d'aucun produit, et sans nettoyage. L'appareil n° 2 a reçu de la poudre d'entretien (poudre inerte dont la densité se rapproche de celle de l'eau et qui a pour but, en frottant les bougies pendant l'opération du nettoyage, de rendre celles-ci nettes de tout dépôt sans les user) et a subi

(1) On trouve aujourd'hui dans le commerce, comme nous l'avons déjà dit, des bougies qui portent la mention : « contrôlée » ; mais il est toujours préférable de les vérifier soi-même.

matin et soir à 6 heures et demie un nettoyage suivant les instructions contenues dans la note ministérielle du 24 mars 1892 (*Bulletin officiel*, partie réglementaire, 1[er] semestre 1892, n° 21).

J'ai mesuré la durée du débit de 10 litres d'eau, et ramené par le calcul au nombre de litres débités pendant une heure. La pression a toujours été très exactement de 20 mètres, pour les deux tableaux ci-dessous A et B.

L'inspection des tableaux suivants démontre une fois de plus l'influence bien manifeste du nettoyeur André sur le débit des bougies, influence d'ailleurs mise en évidence dans le rapport de Netter au Conseil d'hygiène.

On voit nettement l'influence de la plus ou moins grande limpidité de l'eau. Les bougies de l'appareil n° 2 avaient un débit initial identique dans les deux séries d'expériences (150 litres par heure) ; elles ont subi les mêmes nettoyages, reçu les mêmes quantités de poudre d'entretien, et cependant tandis que, au bout de 11 jours, le débit n'était plus que de 42 lit. 8 dans la première série, il était encore de 76 lit. 5 dans la seconde série.

On voit aussi l'influence de la nature des bougies, celles de l'appareil n° 1, 1[re] série, débitaient au début 200 litres par heure, et celles de la 2[e] série, seulement 80 litres ; or, le nombre des bougies était le même, et elles étaient de même nature, marquées de la lettre F.

Tableau A.

DATE ET HEURE DE LA MESURE		DURÉE de fonctionnement du filtre		NOMBRE DE LITRES OBTENUS PAR HEURE Appareil n° 1	Appareil n° 2
7 mars	10 h. 30	0 h.		200	150
8 —	—	24 —	1 j.	50	75
9 —	—	48 —	2 —	33	66,5
10 —	—	72 —	3 —	26	60
11 —	—	96 —	4 —	23	60
12 —	3 h. 30	125 —	5 —	22	60
13 —	1 h. 30	147 —	6 —	20	54,5
14 —	11 h. 30	169 —	7 —	18,7	50
15 —	10 h. 30	192 —	8 —	17,6	46
16 —	—	216 —	9 —	16,6	42,8
17 —	—	240 —	10 —	15,4	42,8
18 —	—	264 —	11 —	15	42,8

Tableau B.

DATE ET HEURE DE LA MESURE		DURÉE de fonctionnement du filtre		NOMBRE DE LITRES OBTENUS PAR HEURE Appareil n° 1	Appareil n° 2
13 avril	midi	0 h.		80	150
14 —	9 h. m.	21 —	1 j.	60	85,7
15 —	—	45 —	2 —	45,2	88,8
16 —	11 h.	71 —	3 —	40	75
17 —	9 h.	93 —	4 —	36,3	82,7
18 —	9 h.	117 —	5 —	33	73,4
19 —	—	141 —	6 —	31,5	96
20 —	—	165 —	7 —	29 6	92,3
22 —	—	213 —	9 —	23,5	82,7
24 —	—	261 —	11 —	21,1	76,5
26 —	—	309 —	13 —	19,7	72
28 —	—	357 —	15 —	18,3	64,2
3 mai	—		20 —	16,4	57,5
6 —	—		23 —	13,7	56
16 —	—		33 —	12	44,4

Tableau C.

DATE ET HEURE DE LA MESURE		DURÉE DU FONCTIONNEMENT du filtre		NOMBRE de litres par heure	
Pression de 10 mètres.					
	heure.	heures.	jours	litres.	
20 janv.	Midi.	0		60	Les bougies n'ont subi aucun nettoyage pendant cette période, mais ont été nettoyées le 25 à 11 h.; puis remises en marche.
21 —	9 mat.	21	1	56	
23 —	11 —	71	3	50	
24 —	11 —	95	4	46	
25 —	10 1/2	118,5	5	40	
25 —	11 —	après nettoyage.		56	
Pression de 20 mètres.					
25 janv.	4 soir.	0		120	Aucun nettoyage pendant cette période.
26 —	10 —	18		82	
27 —	10 —	42	2	43	
28 —	10 —	66	3	23	
29 —	10 —	90	4	13	
30 —	Midi.	114	5	9	
30 —	Nettoyage à l'eau seule.			82	On voit encore ici l'influence nuisible du liege sur le débit.
30 —	— avec la poudre.			84	
30 —	— à l'eau bouill.			57	
30 —	—	— carb.		44	
Pression de 30 metres.					
1er fév.	1 1/2	0		64	Sans nettoyage On voit que, dès que la pression est un peu forte, il se produit un colmatage qui arrête presque le débit; d'où la nécessité de nettoyages fréquents.
(Après nouveau nettoyage à la poudre)					
2 fév.	1 1/2	24	1	15	
4 —	9 mat.	53	2	0,98	
5 —	11 —	79	3	0,95	
6 —	9 1/2	101 1/2	4	0,93	
6 —	10 —	Nettoyage au frotteur seul (2 rinçages à l'eau). .		13	
6 —	10 —	Nettoyage à la poudre. . .		24	Influence de la poudre.
6 —	10 —	Par contact de demi-heure d'une lessive de soude chaude (1 lit. de lessive pour 10 litres d'eau) et filtration lente à travers les bougies		60	J'avais eu soin de bien enlever toutes les grenailles de liège.
Pression de 40 mètres.					
7 fév.	9 1/2	0		61	
8 —	9 1/2	24	1	16	
9 —	9 1/2	48	2	12	
12 —	9 1/2	96	4	8,5	
15 —	9 1/2	168	7	7,9	

Je voudrais présenter ici une observation au sujet du nettoyage tel qu'il est indiqué dans la note ministérielle; on recommande de mettre dans l'appareil, en même temps que la poudre d'entretien, de la grenaille de liège; l'addition de cette dernière substance peut avoir un inconvénient lorsqu'on procède au nettoyage de l'appareil à l'aide d'une solution alcaline ou même simplement d'eau bouillante; il se fait, par l'action de la chaleur et de l'alcali sur le liège, un produit qui vient boucher en partie les bougies. C'est ce que démontre très nettement l'expérience suivante: les bougies ayant fonctionné du 7 au 18 mars ont subi un nettoyage avec une solution alcaline bouillante, puis avec de l'eau ordinaire, et ont été remises en marche le 20 mars à 5 heures: le débit de l'appareil n° 1 était de 120 litres, c'est-à-dire presque son débit initial, tandis que celui de l'appareil n° 2 n'était plus que de 33 litres, c'est-à-dire inférieur même à celui du 18 mars; or, ce dernier appareil seul avait reçu de la grenaille de liège; et bien qu'on ait eu soin de faire écouler le contenu du réservoir avant de procéder au nettoyage alcalin, il était resté un certain nombre de fragments de liège.

Les expériences relevées dans les tableaux précédents ont été faites avec l'eau de la Vanne limpide; c'est ce qui explique le débit considérable même des bougies n° 1 non soumises au nettoyage. Mais en janvier, février, ces mêmes bougies avaient vu leur débit s'atténuer considérablement ainsi que l'indique

le tableau C, qui fait ressortir aussi l'influence de la pression.

Les conclusions qui se dégagent des chiffres ainsi obtenus sont les suivantes : 1° Il est évident que les bougies nettoyées ont un débit plus considérable que les autres ; on n'en doit pas moins constater que, malgré ces nettoyages faits régulièrement deux fois par jour et avec grand soin, le débit des bougies baisse peu à peu, ce qui tient évidemment à ce que les frottoirs ne peuvent enlever que les substances déposées à la surface des bougies, mais n'atteignent pas celles qui ont déjà pénétré dans les pores de la porcelaine. 2° Toutefois, la diminution du débit n'est pas indéfinie ; il arrive un moment où ce débit reste à peu près constant après chaque nettoyage, au moins dans les limites de temps pendant lesquelles j'ai opéré. 3° En partant de bougies ayant exactement le même débit et alimentées par la même eau dans des conditions identiques, subissant les mêmes nettoyages, etc., les débits ne restent pas semblables dans les deux filtres après un certain temps de fonctionnement, ce qui ne peut tenir qu'à ce fait que les bougies n'ont pas une pâte absolument homogène, variable, par conséquent, d'une bougie à l'autre. 4° Il y aurait avantage à supprimer le liège contenu dans la poudre d'entretien, liège qui, dans certaines conditions, contribue à obstruer les bougies et me paraît n'avoir qu'une influence presque nulle sur le nettoyage des bougies.

Après avoir indiqué rapidement les résultats

obtenus au sujet du débit, expériences qui ne font d'ailleurs que confirmer ce qu'on savait déjà, j'arrive à l'exposé de la partie principale de mon travail, mes expériences ayant été surtout instituées pour étudier l'influence de différents éléments (durée de la filtration, pression de l'eau, nettoyage des bougies, etc.), sur le passage des microbes à travers des bougies Chamberland.

Prise d'échantillon. — J'enlevais rapidemment le tube en caoutchouc servant à l'écoulement de l'eau filtrée et fixé au téton du collecteur ; je flambais celui-ci avec un bec Bunsen et recueillais l'eau qui jaillissait dans un matras préalablement stérilisé et bouché par un tampon d'ouate : celui-ci était remis immédiatement avec les précautions usitées. Puis je procédais de suite à l'ensemencement.

Il est indispensable de prendre l'eau à la sortie du téton et non pas à la sortie des reservoirs où l'on recueille l'eau filtrée, car on ajoute une inconnue de plus au problème ; c'est ce qui explique pourquoi, dans les essais plus ou moins officiels faits avec le filtre André, on a toujours trouvé des microbes dans les cultures, souvent même en plus grand nombre que dans l'eau alimentant le filtre. Ces réservoirs sont presque impossible à stériliser complètement ; il en résulte que les microbes s'y multiplient. On n'a donc pas, en faisant des cultures avec l'eau sortant de ces réservoirs, le même résultat qu'en prenant l'eau à la sortie même du filtre ; or, c'est ce dernier ré-

sultat qui est important à connaître, attendu que l'on se propose, dans l'emploi des filtres, de séparer de l'eau destinée à la consommation les microbes, dont quelques-uns peuvent être pathogènes, qui y sont contenus ; si l'eau a été *bien* filtrée, il est vraiment d'un intérêt tout à fait secondaire qu'elle renferme ensuite des microbes vulgaires apportés par l'air par exemple ; sinon, il faudrait renoncer à consommer une eau quelconque : nous ne pouvons avoir la prétention de priver de *tout* microbe nos aliments liquides ou solides.

Méthode de culture. — Je crois nécessaire d'indiquer la méthode que j'ai suivie, les résultats obtenus dépendant en grande partie de celle-ci.

J'ai renoncé à faire le dénombrement des microbes par la voie humide à cause de la longueur de cette méthode. J'ai donc procédé par culture sur la gélatine et sur l'agar-agar. Ici plusieurs procédés peuvent être employés : 1° la culture sur plaques dans les fioles de Gayon ; 2° cette même culture dans des boîtes de Petri ; 3° la culture dans des tubes d'Esmarch.

La culture dans les fioles Gayon demande, si on veut avoir une surface suffisante, des fioles de grande dimension, et alors la numération des colonies devient difficile à cause de la forme conique du récipient.

La culture dans les boîtes Petri présente plusieurs inconvénients : 1° on ne peut stériliser commodément la gélatine une fois qu'elle est coulée dans le

récipient inférieur ; or, on a des chances de contaminer la gélatine pendant cette dernière manipulation ; 2° pour introduire l'eau à analyser, on soulève le couvercle, ce qui permet encore l'introduction de germes de l'air ; 3° le couvercle ne fermant pas hermétiquement, la gélatine se dessèche peu à peu à l'étuve, et l'on ne peut prolonger suffisamment l'expérience, comme cela est nécessaire, si on veut donner le temps à toutes les colonies de se développer, surtout si l'on opère avec l'agar-agar.

La culture en tubes d'Esmarch n'offre aucun de ces inconvénients : 1° la gélatine peut y être stérilisée à l'autoclave ; 2° l'ouverture du tube étant très étroite, les germes de l'air ne peuvent que difficilement y pénétrer pendant l'introduction de l'eau à analyser, et c'est la seule fois qu'on ait besoin d'ouvrir le tube ; 3° l'ouverture étant fermée par un tampon d'ouate coiffé d'une capote en caoutchouc, on peut conserver, aussi longtemps qu'on veut, les cultures à l'étuve sans crainte de dessiccation. Esmarch faisait ses cultures en tubes roulés ; je préfère étaler simplement la gélatine sur un seul côté, en posant le tube horizontalement pendant la solidification de la gélatine. La surface de culture est encore bien suffisante et la numération des colonies très facile. D'ailleurs ce mode opératoire est employé depuis longtemps par le professeur Massol, de Genève, qui m'a dit s'en trouver satisfait.

Mode opératoire. — La méthode de culture indi-

quée, voici comment j'ai procédé pour l'ensemencement. J'ai mesuré l'eau à l'aide d'une pipette stérilisée, après avoir eu soin d'évaluer le volume des gouttes qu'elle laissait tomber. Il m'a suffi pour cela, de recuillir un certain nombre de gouttes dans une burette graduée, et de diviser le volume obtenu par le nombre de ces gouttes. Dans le cours de mes expériences, je me suis servi de trois pipettes donnant des gouttes pesant 0 gr. 65 ; 0 gr. 080 et 0 gr. 095.

J'ai ensemencé chaque fois 5 tubes de gélatine et 5 tubes d'agar-agar, respectivement avec 3, 3, 6, 6, et 12 gouttes ; ces tubes portaient les numéros 1, 2, 3, 4 et 5 pour la gélatine et 1', 2', 3', 4' et 5' pour la gélose. On trouvera peut-être que j'ensemençais un volume d eau considérable, mais on doit se rappeler qu'il s'agit d'une eau filtrée, c'est-à-dire tout à fait ou presque dépourvue de microbes, comme on le verra d'ailleurs par l'exposé de mes expériences. D'une façon générale, je préfère cette manière de faire à une dilution préalable dans de l'eau distillée stérilisée, qui présente toujours quelque danger de contamination ; on doit, autant que possible, réduire le nombre des manipulations. Quand on a affaire à une eau riche en microbes, il suffit de prendre une pipette très effilée et ne donnant que des gouttelettes d'un très faible volume. Il est bien évident qu'avec une eau très chargée, on ne pourra se dispenser de recourir à la dilution préalable.

Pour faire l'ensemencement, j'ai donc introduit

les gouttes d'eau à examiner dans les tubes d'Esmarch contenant la gélatine liquéfiée, les tubes étant plongés dans un bain-marie chauffé à 35°; pour les tubes d'agar-agar, le bain-marie était à 45°.

Au point de vue du mélange de l'eau avec la gélatine ou la gélose, le tube d'Esmarch présente encore un grand avantage avec les plaques Petri. 1° Avec celles-ci, il est difficile de liquéfier la gélatine à une température déterminée ; si on ensemence dès qu'on a introduit la gélatine liquide dans le godet de verre inférieur, on risque d'avoir une température trop élevée qui détruit certains germes ; si on attend trop, la gélatine se prend sur les bords et n'a plus une fluidité suffisante pour que l'eau y soit mélangée intimement. Avec les tubes d'Esmarch rien de tout cela ; on plonge ceux-ci dans un bain-marie chauffé à une température convenable assez longtemps pour avoir un milieu bien fluide. 2° Même quand la gélatine, et *a fortiori* la gélose, est suffisamment liquéfiée, il est difficile, avec les plaques Petri, d'obtenir un mélange bien homogène de la goutte d'eau avec la gélatine, parce qu'on ne peut imprimer que des mouvements très modérés au mélange. Dans les tubes d'Esmarch, les gouttes d'eau tombent au milieu de la gélatine liquide, occupant le fond du tube alors vertical, et par conséquent peuvent y être mélangées par une agitation convenable. Je vais maintenant exposer les résultats obtenus.

Première série d'expériences. — Dans une première série d'expériences (du 20 janvier au 15 février) j'ai opéré avec un seul appareil à six bougies, fonctionnant sous des pressions variées. J'ai introduit dans l'appareil la poudre d'entretien, mais n'ai pas fait de nettoyage journalier ; les bougies n'ont été nettoyées que chaque fois que je changeais la pression.

Les tubes de gélatine ont été mis à l'étuve à 22°, et les tubes d'agar-agar à l'étuve à 38°. J'ai examiné les cultures tous les deux ou trois jours, mais n'ai consigné dans les tableaux suivants que le dernier examen.

Il résulte des expériences précédentes que sous des pressions variées, même fortes et avec des coups de bélier (avec la pression de 40 mètres, j'ai laissé les coups de bélier se produire), l'eau sortant du filtre était absolument pure ; les colonies obtenues étaient en nombre tellement infime, étant donnée la longueur du séjour à l'étuve, qu'elles ne peuvent infirmer cet énoncé. D'ailleurs, on peut admettre avec justesse que les moisissures étaient dues à des fautes de manipulation et provenaient bien plutôt de l'air que de l'eau ; en effet, ce qui confirmerait cette explication, c'est qu'on voit que la même eau a donné des tubes stériles et des tubes légèrement contaminés. Ces résultats ne concordent pas avec ceux publiés par Lacour dans la *Revue d'hygiène* du 20 juin 1892. Peut-on expliquer cette différence ?

Dans d'autres expériences je n'avais pas obtenu d'aussi bons résultats et je constatais, moi aussi,

Tableau D.

DATE de l'ensemencement	DURÉE de fonctionnement du filtre	Nombre de jours à l'étuve	RÉSULTATS DES CULTURES
			Pression de 10 mètres.
21 janv	21 h. = 1 jour.	23 j.	Pas une seule colonie dans le 10 tubes.
23 —	71 h. = 3 —	25 —	Même résultat.
24 —	95 h = 4 —	24 —	Id.
25 —	118 h. = 5 —	23 —	Tube n° 3 — 3 colonies. — 3' — 1 — Les 8 autres tubes — rien.
			Pression de 20 mètres.
25 janv.	0 h.	23 j.	Tube n° 2' — 1 colonie. Les 9 autres tubes — rien.
26 —	18 h.	22 —	Tube n° 5 — 2 colonies. — 2' — 1 — — 3' — 1 — — 4' — 1 —
27 —	42 h. = 1 3/4 j.	26 —	Pas une seule colonie.
28 —	66 h. = 2 3/4 j.	25 —	Id.
29 —	90 h. = 3 3/4 j.	24 —	Id.
30 —	114 h. = 4 3/4 j.	23 —	Tube n° 1 — 8 colon. — 2 — 8 — + 20 moisiss. — 3 — 10 — } Liquéfié — 4 — 16 — } au bout de 14 j — 5 — 0 — Tubes n°s 1', 2', 3', 4' et 5' — rien.
			Pression de 30 mètres.
2 févr.	24 h. = 1 jour.	20 j.	Tubes n°s 1, 3, 4 et 5 envahis par des moisissures. Tube n° 2 — rien. Tubes n°s 1', 2', 3', 4' et 5' — rien.
4 —	53 h. = 2 1/4 j.	18 —	Tube n° 1 — 7 moisissures. Tubes n°s 2, 3, 4 et 5 — rien. Pas de gélose ensemencée.
6 —	101^h,5 = 4 1/4 j.	22 —	Pas une colonie.
			Pression de 40 mètres.
8 févr.	24 h. = 1 jour.	20 j.	Tube n° 3 — 1 colonie liquéfiée. Les 9 autres tubes, rien.
9 —	48 h. = 2 —	19 —	Tubes n°s 1, 2, 3, 4 — rien. Tube n° 5 — 3 moisissures. Tubes n°s 1', 2', 3', 5' — rien. Tube n° 4' — 12 moisissures.
10 —	72 h. = 3 —	18 —	— 3' — 2 colonies. Les 9 autres, rien.
15 —	168 h. = 7 —	13 —	Tubes n°s 1, 2, 3 — rien. — 4, 5 — liquéf. compl.
		26 —	Tubes n°s 1', 2' 3', — liquéfiés. — 4' et 5', — rien.

qu'au bout de 3, 4 et 5 jours le nombre des microbes qui passaient augmentait considérablement. Ce phénomène me paraît dû à ce fait que le réservoir enveloppant la ou les bougies n'avait pas été

Tableau E.

DATE de l'ensemencement	DURÉE de fonctionnement du filtre		NOMBRE de jours à l'étuve	RÉSULTATS DES CULTURES
		Pression de 10 mètres.		
	heures.	jours.	jours	
18 février.	5 1/2		23	Pas une colonie dans les 10 tubes
20 —	45 1/2	2	21	Tube n° 1 — 1 colonie.
				Tubes n°s 2, 3, 4, 5 — rien.
				Pas de gélose ensemencée.
21 —	69 1/2	3	20	Tube n° 1 — 1 colonie.
				Tubes n°s 2, 3, 5 — rien.
				Tube n° 4 — 4 colonies.
22 —	93 1/2	4	19	Tubes n°s 1, 3, 4, 5 — rien.
				Tube n° 2 — liquéfié.
23 —	117 1/2	5	18	— 1 — liquéfié.
				Tubes n°s 2, 3, 4, 5 — rien.
		Pression de 20 mètres.		
	heures.	jours.	jours.	
25 février.	27	1	16	10 tubes — rien.
26 —	53	2 1/4	15	idem.
27 —	75	3	14	Tubes n°s 2, 2, 5 — rien.
				Tube n° 3 — liquéfié.
				— 4 — 1 moisissure.
				Tubes n°s 1', 2', 3', 4', 5' — rien.
28 —	100	4 1/4	13	10 tubes — rien.
1er mars.	124	5	17	10 — —

préalablement stérilisé. Mais si l'on a soin de laver à l'eau bien bouillante ou avec une solution antiseptique (pouvant être facilement éliminée), ou mieux de flamber les parties extérieures des bougies ainsi que toutes les parties métalliques enveloppant celles-ci, on obtient les résultats négatifs cités plus haut. Il semble que, malgré le courant d'eau qui tendrait à les balayer, les quelques microbes installés dans ces enveloppes pullulent et donnent, au bout de quelques jours, des colonies plus nombreuses à la sortie du filtre, ainsi que l'a constaté Lacour. Si, au point de vue de l'alimentation, ce fait de la présence de microbes vulgaires dans les enveloppes des bougies n'a pas d'importance, comme je l'ai montré plus haut à propos de l'eau accumulée dans les réservoirs, il en a, au contraire, une très grande, si l'on cherche à numérer les microbes qui *traversent* la bougie ; et en réalité les microbes trouvés dans les cultures peuvent provenir de l'extérieur des bougies, mais n'ont pas *passé au travers* de celles-ci.

Deuxième série d'expériences. — Dans une deuxième série d'expériencces, où les bougies ont été nettoyées deux fois par jour, les résultats ont été identiques.

Troisième série d'expériences. — Dans les expériences suivantes, il y avait deux appareils accou-

plés comme je l'ai expliqué plus haut ; le n° 2 a reçu de la poudre d'entretien et a été nettoyé régulièrement, matin et soir, à 6 heures et demie ; le n° 1, servant de témoin, n'a pas reçu de poudre et n'a subi aucun nettoyage.

Tableau F.

DATE de l'ensemencement	DURÉE de fonctionnement DU FILTRE		NOMBRE de JOURS à l'étuve	RÉSULTATS DES CULTURES AVEC L'APPAREIL	
				N° 1	N° 2
	heures.	jours.	jours		
8 mars.	0		14	10 tubes 0 colonie.	10 tubes 0 colonie.
13 —	147	6	4	10 tubes liquéfiés	10 tubes liquéfiés.
15 —	192	8	2	— —	— —
17 —	240	10	5	— —	— —

Cette troisième série montre très nettement l'influence de la stérilisation préalable des pièces métalliques formant réservoir autour des bougies.

On voit que l'eau, qui passait pure au début de l'expérience dans les deux filtres, n'a pas tardé à être contaminée, et cependant ce ne sont pas les bougies qui étaient mauvaises, car ces mêmes bougies ont servi pour les expériences suivantes et ont donné d'excellents résultats ; la seule différence c'est que dans le premier cas je n'avais pas stérilisé l'enveloppe des bougies ni le collecteur, tandis que, dans le second cas, j'avais préalablement flambé avec un bec Bunsen toutes ces parties avant de remonter l'appareil.

Ces expériences ont été faites à la pression de 20 mètres.

Quatrième série d'expériences. (Tableau G.)

Cette expérience, prolongée pendant 27 jours, montre bien la grande valeur des bougies Chamberland, au point de vue de l'arrêt des microbes, car le nombre des colonies obtenues est ou nul ou bien minime, surtout si l'on songe au volume d'eau véritablement considérable ensemencé dans chaque tube. Quant aux tubes liquéfiés, on sait qu'il suffit de quelques colonies liquéfiantes pour envahir rapidement la couche de gélatine tout entière ; il n'en faut donc pas conclure au grand nombre de colonies.

Les résultats que j'ai obtenus peuvent se résumer ainsi :

1° Sous des pressions variées (10, 20, 30, 40, 50 mètres), et même avec des coups de bélier, l'eau filtrée était absolument pure, du moins au bout de cinq jours ;

2° La poudre d'entretien, excellente pour le nettoyage des bougies par son frottement sur celles-ci, ne remplit pas le rôle qu'on aurait pu lui croire dévolu, de former une espèce de matelas empêchant le contact des microbes avec la porcelaine, et par suite, empêchant ceux-ci de passer au travers.

C'est d'ailleurs une conclusion à laquelle est arrivé de son côté, Lacour, dans un travail récent, publié dans la *Revue d'hygiène* de juin 1893 ;

Tableau G.

DATE de l'ensemencement	DURÉE de fonctionnement DU FILTRE		NOMBRE de JOURS à l'étuve	RÉSULTATS OBTENUS AVEC L'APPAREIL	
				N° 1.	N° 2.
	heures.	jours.	jours		
14 avril..	21	1	26	10 tubes, rien.	10 tubes — rien.
17 —	93	4	23	—	—
20 —	165	7	20	—	—
22 —	213	9	18	—	—
26 —	309	13	14	Tube 3, 1 colonie. — 5, 1 — Les 8 autres, rien.	Tube n° 5′—1 colon Les 9 autres — rien
6 mai. .		23	12	Tube n° 1, rien. — 2, 13 colon. — 3, 17 — — 4, 26 — — 5, liquéfié. — 1′, envahi. — 2′, 2 colon. — 3′, 1 — — 4′, 5 — — 5′, 2 —	Tube n° 1—6 colon. — 2 6 — — 3 9 — — 1 14 — — 5 15 — Tubes n°s 1′, 2′, 3′, 4′ et 5′— rien.
10 —		27	8	Tube n° 1, 11 colon. — 2, 26 — — 3, 32 — — 4, 30 — — 5, 58 — — 1′, rien. — 2′, envahi. — 3′, rien. — 4′, rien. — 5′, envahi.	Tube n° 1—liquéfié — 2— — — 3— — — 4— — — 5— — — 1′— rien. — 2′— 1 colon — 3′— rien. — 4′— — — 5′— —

3° Les bougies Chamberland ne laissent passer

aucun microbe pendant une durée d'au moins dix jours, et seulement un nombre infime pendant une durée de vingt-sept jours (limite de mes expériences). C'est là une limite de temps qui s'accorde assez bien avec celle trouvée par différents expérimentateurs.

Les microbes traversent-ils les filtres en porcelaine ?

Nous avons déjà vu que dès l'apparition des bougies Chamberland, Bourquelot et Galippe, en opérant sur des liquides organiques complexes (salive, urine, matières fécales), avaient conclu de leurs expériences que ces liquides n'étaient pas complètement stérilisés après leur passage à travers la bougie poreuse. Ils ont expérimenté aussi avec le liquide de Raulin, renfermant seulement 1 pour 1000 d'acide tartrique et ensemencé avec des spores de penicillium glaucum, or, dans le liquide filtré s'était développé du penicillium.

Nous avons vu aussi que Chamberland avait répondu qu'en laissant longtemps en contact avec les parois interne et externe de la bougie des liquides très facilement altérables, les microbes pouvaient proliférer de proche en proche à travers les pores de la porcelaine, ce qui expliquerait leur présence à l'intérieur de celles-ci, et par suite dans le liquide filtré.

Il faut ajouter qu'à cette époque la fabrication des bougies n'était pas aussi bien soignée qu'elle l'est

aujourd'hui, et qu'on en rencontrait qui n'étaient pas absolument imperméables aux microbes, même immédiatement.

J'avoue que, pour ma part, j'ai employé bien souvent des bougies pour filtrer de l'urine soit naturelle, soit chargée de bacilles de la diphtérie, ou des bouillons de ce même microbe, et que jamais je n'ai vu mes liquides filtrés se troubler même après un temps assez long; j'ai laissé plusieurs fois les bougies dans l'urine, pendant plus d'un mois, sans la moindre altération; il est vrai qu'il n'y avait plus de liquide dans l'intérieur des bougies (je filtrais par aspiration de l'intérieur à l'extérieur des bougies auxquelles j'avais enlevé la partie correspondante au téton).

Mais il s'agit là d'expériences de laboratoire, dans lesquelles les bougies sont stérilisées fréquemment; ce qui est important c'est de voir comment elles se comportent dans la filtration prolongée de l'eau.

Le professeur C. Fraenckel, de Berlin, a reconnu qu'après un certain nombre de jours de fonctionnement, les bougies Chamberland se laissent traverser par les bactéries.

Le professeur J. Arnould, de Lille, a remarqué aussi que certaines bougies de fabrication récente, donnant un jet volumineux en service depuis quelque temps et nettoyées tous les jours, se laissent traverser par des microbes, mais comme il n'a pas fait d'observation dès la mise en marche de ces bougies, il ne peut dire si les microbes ont traversé

immédiatement ou par végétation au bout d'un certain temps.

Giltay et Aberson, qui ont inventé un appareil spécial pour éprouver l'exactitude des filtres Chamberland, disent que seules les premières portions d'eau passées à travers la bougie par aspiration, ne troublaient pas le bouillon.

Smith et Moore, à la suite d'expériences analogues, ont trouvé que les pores des filtres Chamberland sont plus grands que la plupart des bactéries. J'ai déjà dit que je ne croyais pas que cela fût une raison, dans certaines limites de dimension bien étendu, pour que les microbes passassent à travers les bougies ; il n'y a pas, je le répète, un arrêt mécanique comparable au tamisage d'une poudre par exemple, dont le passage dépend exclusivement de la grosseur des mailles, mais l'attraction moléculaire qui entre en jeu, permet l'arrêt de particules plus petites que le volume des espaces vides.

Si j'insiste autant sur ce point, c'est qu'il me paraît d'importance fondamentale, et que si le problème des filtres consistait dans la recherche de substances filtrantes dont les pores fussent *tous* et *toujours* plus petits que les microbes, il serait pratiquement insoluble.

Voici la porcelaine d'amiante dont des coupes microscopiques nous indiquent la finesse des pores. Eh bien ! à qui fera-t-on admettre que dans toute la matière d'un filtre, il n'y a pas de pores plus petits que les spores mêmes des microbes ?

D'ailleurs, l'expérience nous donne une preuve

manifeste de ce que j'avance. Si les microbes n'étaient retenus que lorsque les pores sont plus petits qu'eux, il n'y aurait pas une seule bougie Chamberland qui ne laissât passer, et d'emblée, des microbes, car dans chaque bougie il y a un grand nombre de pores plus volumineux que les microbes et surtout que leurs spores. Et cependant, c'est un fait aujourd'hui bien connu que dans tous les laboratoires de bactériologie de France et même d'Allemagne, on se sert couramment de ces bougies pour filtrer des bouillons de culture, et que ces bouillons sont stérilisés. Et il ne s'agit pas ici de quelques microbes comme dans l'eau ordinaire, mais d'une quantité prodigieuse, quelquefois même on filtre, qu'on me passe l'expression, de véritables purées de microbes, et ceux-ci ne passent pas ; cependant, sur une telle quantité, il doit bien y en avoir un certain nombre qui se trouvent en présence de pores plus grands qu'eux.

Enfin, en continuant cet examen des travaux sur le passage des microbes à travers les bougies de porcelaine, nous verrons que la presque unanimité des auteurs ont fait cette remarque que les microbes ne passaient pas d'emblée, mais au bout d'un certain temps de fonctionnement, ce qui donne au problème une toute autre face.

Ainsi Kübler dit qu'il est certain que, lorsqu'on utilise des bougies pour filtrer des cultures de bactéries, le liquide qui passe est pur de germes.

De Freudenreich a cherché à déterminer le temps

que mettent les bactéries à passer à travers la paroi des bougies. Pour cela, il plongea une bougie Chamberland, la tétine en haut, dans un flacon d'une hauteur égale à celle de la bougie et remplie d'une eau chargée de bactéries. Aprés un certain temps d'attente, il prélevait une quantité déterminée de l'eau filtrée, au moyen d'une pipette qui avait été préalablement introduite jusqu'au fond de la bougie et fixée hermétiquement à son ouverture. Il reconnut par ce procédé que l'eau n'est plus stérile : après 6 jours, à 35°; après 10 jours, à 22°; et qu'elle reste indéfiniment stérile si l'on opère à la température de la chambre, c'est-à-dire à 15°-18°.

Des essais du même genre furent entrepris avec du bouillon ensemencé de bacilles typhiques; le bouillon passé de la bouteille extérieure dans la bougie se montrait encore stérile après 12, 14, 15 et 22 jours. Mais l'auteur lui-même reconnaît que cette expérience n'est pas irréprochable parce qu'il se peut que, du bouillon extérieur chargé de bacilles virulents, il ait passé dans le bouillon intérieur, c'est-à-dire dans la bougie, des produits de culture nuisibles au développement des bacilles typhiques qui auraient pu traverser le filtre. Mais si les bacilles typhiques étaient encore vivants dans le bouillon extérieur, on ne voit pas bien pourquoi ils seraient morts dans le bouillon intérieur !

Les filtres *avec pression* furent expérimentés de deux façons. Dans le premier mode, un filtre était vissé sur un robinet de distribution, que l'on ouvrait de *temps en temps* pour recueillir des échan-

tillons d'eau immédiatement à l'orifice de la bougie. Au bout de quinze jours, l'eau filtrée n'était plus sûrement pure de germes; au bout de trois semaines, elle renfermait toujours des bactéries.

Dans le second mode, la filtration était *continue.* Sur deux expériences, les bactéries apparurent une fois dans l'eau filtrée le cinquième jour, la seconde fois, le dixième jour. Dans un troisième essai, fait avec un filtre neuf qui filtrait assez rapidement pour que l'eau n'ait pas le temps de prendre la température de la chambre, l'eau était encore pure de germes après 24 jours.

L'auteur en conclut que l'appareil Chamberland-Pasteur peut donner de l'eau pure de germes pendant au moins huit jours et que les affirmations des expérimentateurs qui ont dit le contraire sont exagérées. On a vu que ce sont les conclusions de mon propre travail; ce sont celles aussi du mémoire de Lacour dont je parlerai tout à l'heure..

Kübler, de Berlin, a fait de son côté des expériences qui l'amenèrent à une toute autre conclusion. Il a opéré sur des filtres *sans pression* plongeant dans une eau immobile où les bactéries se multiplient spontanément au point d'offrir après 24 heures plus de 2.000 germes dans trois gouttes; de plus, au lieu de se borner comme Freudenreich, à attendre que le liquide fût à la même hauteur dans le flacon et dans la bougie, il déterminait, au moyen de l'aspiration, un réel courant qui aidait un peu plus à la pénétration des bactéries que le simple passage de l'eau à la faveur de la porosité de

la paroi, mais qui, d'autre part, n'était pas assez fort pour balayer les bactéries à l'intérieur des bougies.

Il faut avouer qu'on se trouve dans des conditions bien différentes de la filtration ordinaire de l'eau : 2.000 germes dans trois gouttes de liquide ! Il est bien évident, et c'est la conclusion qui s'impose, que les bougies de porcelaine n'arrêtent pas indéfiniment les microbes ; si, d'autre part, la cause principale de leur passage consiste dans la végétation des microbes à travers l'épaisseur de la porcelaine, cette végétation sera d'autant plus active que le nombre des microbes sera plus grand et que le milieu de culture leur sera plus favorable. Mais, je le répète, ce ne sont pas les conditions de l'eau à filtrer, même de l'eau de rivière de mauvaise qualité.

D'ailleurs, les filtres Berkefeld vantés par Kübler (est-ce parce qu'ils sont d'origine allemande ?) laissent aussi, dans les mêmes conditions, passer les microbes comme nous l'avons vu. D'ailleurs, tous les filtres actuellement connus et soumis à une assez longue expérience, en sont là.

E. Lacour a publié, dans la *Revue d'hygiène*, deux mémoires importants dont j'ai déjà eu l'occasion de parler. Des expériences décrites dans son premier mémoire, il résulte les faits suivants : 1° avec des filtres de ménage composés de cinq bougies filtrant sans pression et dont quelques-uns n'avaient pas été nettoyés depuis plusieurs mois, les résultats ont toujours été les mêmes : l'eau

passait complètement stérilisée; 2° En opérant avec une pression de 1 atmosphère et recueillant l'eau de un à dix jours après la stérilisation des bougies, l'eau a toujours été stérile; 3° A une pression de 2 atmosphères, l'eau a été stérile jusqu'au quatrième jour; à partir du cinquième, il y avait quelques germes, et en poursuivant jusqu'au dixième jour, le nombre des colonies a été toujours en augmentant sans atteindre jamais celui de l'eau non filtrée; 4° A une pression de 3 atmosphères, eau stérile pendant les deux premiers jours, les germes ont commencé à apparaître le troisième jour, semblables à ceux trouvés dans l'eau non filtrée, ont augmenté les jours suivants pour devenir très nombreux dès le cinquième jour; leur nombre était même alors plus considérable que dans l'eau non filtrée; enfin l'auteur y a trouvé des microbes que l'ensemencement de l'eau non filtrée ne lui avait pas manifestés; 5° En introduisant du bacillus subtilis et du bacterium termo entre la bougie et l'armature métallique, il a retrouvé ces microbes dans l'eau filtrée à partir du troisième jour à la pression de 3 atmosphères. « De toutes ces expériences, dit l'auteur, on peut conclure que le filtre Chamberland qui, dans les conditions normales débite de l'eau complètement dépourvue de microbes peut, à un moment donné, produire des résultats tout à fait différents si l'on ne prend pas des dispositions en conséquence. Ces précautions consistent simplement dans la limitation de la pression, ou dans le nettoyage et la stérilisation complète des bougies au moins tous

les trois jours si pour une raison majeure on ne peut diminuer la pression. »

Dans son second mémoire, E. Lacour a pu opérer sous des pressions tout à fait constantes, comme je l'ai fait depuis moi-même, grâce au régulateur Samain et André. Voici ses principales conclusions : « 1° La limitation facultative de la pression et sa fixité jouent un grand rôle dans la filtration. Toutes nos expériences sont concluantes et démontrent qu'à une ou deux atmosphères l'eau filtre stérilisée jusqu'au dixième jour, à condition d'être soumise à une pression constante, c'est-à-dire de n'être influencée ni par les changements qui peuvent se produire dans les tuyaux de conduite, ni par les coups de bélier ; 2° Pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil, il faut faire des nettoyages journaliers (l'auteur s'est servi de l'appareil à nettoyeur mécanique André) ; 3° On doit pratiquer la stérilisation des bougies tous les dix jours et non pas tous les six mois comme l'indique la notice ministérielle. »

Dans une revue critique de mon travail, E. Lacour s'exprime ainsi sous forme de conclusion : « Si l'on rapproche, en ce qu'ils ont de commun, les travaux de Guinochet et les miens, on voit qu'ils arrivent aux mêmes conclusions en ce qui concerne la valeur du filtre Chamberland, les heureuses modifications apportées par O. André, le peu d'influence de la poudre d'entretien, enfin la nécessité de nombreux nettoyages et de stérilisations fréquentes et pratiques. »

On lit, enfin, dans le *Bulletin municipal officiel de Paris* du 11 décembre 1892, ce qui suit : « Miquel rend compte des études qu'il avait mission de faire au sujet des filtres à bougies de porcelaine pour la filtration des eaux dans les établissements scolaires. Il résulte d'expériences réitérées que, si ces bougies retiennent, au moins au début de leur fonctionnement, les bactéries contenues dans les liquides de culture les plus fortement infectés, il faut reconnaître qu'elles ne s'opposent pas longtemps à leur passage, surtout quand l'extérieur des bougies s'est recouvert d'un mucus vaseux très putrescible, constituant autour d'elles un véritable milieu de culture.

La rapidité de cette infection se trouve soumise : 1° à l'action de la température ambiante qui favorise pendant la saison chaude la pullulation des bactéries ; 2° à l'influence de la nature des eaux plus ou moins favorables au développement des microphytes ; 3° enfin elle dépend de la pression qui, d'après quelques auteurs, favoriserait le passage de ces mêmes organismes inférieurs. » « Miquel, dit Vallin, croit qu'on a attribué à la pression une influence exagérée, car sous une faible pression et même sous une pression nulle, comme nous l'avons vu, plusieurs bactéries traversent facilement la porcelaine, par culture de proche en proche. L'une des précautions les plus importantes pour assurer le bon fonctionnement d'une bougie est donc d'empêcher la formation sur la porcelaine de ces dépôts vaseux que charrient les eaux et qui assurent la cul-

ture progressive dans l'épaisseur de la paroi filtrante. C'est à la présence de cet enduit limoneux et visqueux, véritable milieu de culture, qu'il faut attribuer l'extrême variabilité du pouvoir stérilisant d'un même système et le nombre parfois plus grand de microbes à la sortie qu'à l'entrée du filtre. On ne saurait trop attirer sur ce point l'attention des constructeurs de filtres, afin qu'ils cherchent par tous les moyens possibles à s'opposer à la formation des dépôts putrescibles à la surface du biscuit. »
Je pense précisément avoir indiqué un moyen pratique d'éviter cette multiplication des microbes due à l'enduit qui leur sert de milieu de culture, en détruisant matières organiques et microbes par la stérilisation à froid au moyen du permanganate de potasse.

De tout ce qui précède, il nous semble possible de répondre à la question posée en tête du paragraphe : les expérimentateurs sont à peu près unanimes pour constater que les bougies Chamberland laissent à un moment donné passer les microbes ; ils ne diffèrent que sur le temps pendant lequel l'eau est stérilisée, les uns trouvant le temps très court (Kübler) les autres, et il semble bien que ce soit le plus grand nombre (de Freudenreich, Lacour, Guinochet), le fixant, par exemple, à une dizaine de jours pour une pression de deux atmosphères, enfin certains ont même vu le filtre débiter de l'eau stérilisée pendant plus longtemps encore (voir la fin du paragraphe concernant le filtre Chamberland).

Ne pourrait-on expliquer ces différences trouvées

par les expérimentateurs dans la durée du bon fonctionnement du filtre Chamberland, par la nature des bougies qui ne seraient pas toutes identiques à elles-mêmes? Ce dernier fait est absolument certain : on a vu, en effet, que des batteries de six bougies neuves marquées de la même lettre F, m'ont donné comme débits initiaux, 200, 150, 80 litres par heure; l'eau était la même puisqu'elle passait en même temps dans les deux appareils. Enfin on a vu que pour des bougies donnant, au début, exactement le même débit, la diminution était loin d'être la même après un certain temps de fonctionnement, les unes s'obstruant plus vite que les autres, et je le répète, en présence de la même eau passant au même moment. De plus, comme j'opérais sur six bougies prises au hasard dans chaque appareil, cela constituait une moyenne.

Quel est le mécanisme du passage des microbes à travers les bougies de porcelaine ?

Puisqu'il semble bien établi que les microbes passent à travers les bougies de porcelaine au bout d'un certain temps, quelles explications ont été données de ce fait ?

On peut dire qu'elles se résument à deux : ou bien les microbes sont entraînés mécaniquement par l'aspiration produite par le passage de l'eau, ou bien il se produit une végétation de proche en

proche depuis les microbes arrêtés à la surface extérieure de la bougie à travers le septum en porcelaine, jusqu'à ce que celui-ci soit complètement traversé.

C'est cette seconde hypothèse qui semble avoir le plus de faveur aujourd'hui; peut-être les deux sont-elles justes, mais dans des proportions différentes.

Bourquelot émet l'hypothèse suivante : « Peut-être y a-t-il une fixation comparable à la fixation des matières colorantes par le charbon animal, ou encore des matières albuminoïdes par ce même charbon animal. Dans cette hypothèse l'arrêt des microbes ne serait pas indéfini. La paroi filtrante, une fois saturée par la matière albuminoïde, laisserait passer celle-ci à la filtration comme du charbon animal une fois saturé par une matière colorante se trouve incapable d'en absorber de nouvelles quantités. »

Pour E. Lacour, c'est la pression qu'il faut incriminer : « Pour expliquer la contamination de l'eau par les filtres, on peut admettre que les germes accumulés à la surface des bougies, dans un milieu propice à leur développement, passent à travers les pores sous l'influence des hautes pressions et des chocs souvent répétés, chocs provenant de ce que les conduites sur lesquelles étaient fixés les filtres portaient généralement une série de robinets desservant les cuisines, les lavoirs, les abreuvoirs, etc.; or, chaque fois que l'on ouvrait une ou plusieurs de ces prises d'eau, la pression diminuait considérablement dans ces filtres, quelquefois même elle deve-

nait nulle, suivant l'importance ou le nombre des robinets ouverts. Venait-on, au contraire, à les fermer, l'eau se précipitait avec plus ou moins de violence, suivant la pression, et venait frapper la surface des bougies comme d'un coup de bélier. »

On a vu que, dans mes propres expériences, malgré des pressions élevées (30, 40, 50 mètres d'eau), et même avec des coups de bélier, l'eau filtrée était absolument pure, du moins au bout de cinq jours. E. Lacour, en présence de cette divergence entre nos résultats, se demande si elle ne pourrait être attribuée à la nature des bougies. Cela est fort possible, car on a vu que celles-ci étaient loin d'être toujours identiques. Mais en admettant que les hautes pressions et les coups de bélier contribuent au passage des microbes à travers le septum en porcelaine, il me paraît bien difficile de croire que ce soit la seule cause ou même la principale cause de ce passage. J'y vois, en effet, deux objections d'une certaine valeur. D'abord, il n'y a pas passage toutes les fois qu'il y a haute pression ou choc, ce dont témoignent mes expériences ; et pourquoi dans ce cas, les microbes ne passent-ils pas immédiatement, mais seulement au bout d'un certain temps? Ensuite, et ceci je m'empresse de l'ajouter, me semble plus décisif, il y a toujours passage au bout d'un temps plus ou moins long, même sans la moindre pression, ce qui ne peut faire de doute d'après tous les faits que j'ai rapportés dans le paragraphe précédent. Puisque ce passage des microbes a lieu sans pression, pourquoi incriminer celle-ci

lorsque les filtres travaillent avec pression ? Que dans certains cas, la pression facilite le passage, cela est fort possible ; mais ce n'est qu'un adjuvant à la cause réelle.

Cette cause, c'est la végétation des bactéries se faisant de proche en proche à travers la porcelaine.

C'est l'explication qu'en avait déjà donnée Chamberland dans sa réponse aux critiques de Bourquelot et Galippe. C'est l'opinion adoptée par la presque unanimité des auteurs ; Nordtmeyer fait, en effet, remarquer de nouveau que les proportions de bactéries de l'eau filtrée ne dépendent pas de celles de l'eau brute, mais de la végétation des microbes de celle-ci à travers les parois du filtre (il s'agissait du filtre Berkefeld en terre d'infusoires) ; d'où il résulte que la température de l'eau et de celle du local où est installé le filtre ont une influence décisive sur la réalisation de cet accident. Il est vrai qu'il pense qu'on ne saurait présupposer une telle pénétration par acte végétatif de la part de bactéries pathogènes, parce qu'il n'a pas obtenu cette pénétration avec le bacille du lait bleu, le bacille typhique et le staphylocoque ; mais cela peut provenir simplement de ce que ces microbes ont péri avant le passage. E. Lacour a réussi à voir le bacillus subtilis et le bacterium termo traverser le filtre.

Nous avons vu antérieurement l'influence manifeste de la température sur le passage des microbes ; quand leur développement est entravé, ceux-ci ne passent pas ; dès que les conditions sont favorables, on les voit apparaître dans l'eau filtrée.

Schöfer qui a repris dans ces derniers temps les expériences de Kirchner sur la perméabilité des cylindres poreux aux microbes, a constaté les faits suivants qui présentent un certain intérêt. Il a constaté d'abord que, même après 24 heures. l'eau (précédemment stérilisée, puis chargée de bacilles) était entièrement stérile après filtration. Mais, en ajoutant du pain à l'eau soumise au filtrage, il constata qu'il suffisait de l'adjonction de 5 centimètres cubes de pain à 600 centimètres cubes d'eau pour que, au bout de deux jours, des bacilles apparussent dans l'eau filtrée. Dès que la quantité de pain augmente, le nombre des bacilles augmente d'une façon extraordinaire. Cette augmentation est due à la rapide multiplication des quelques bacilles qui peuvent rester dans les pores des cylindres filtrants et pour lesquels le pain contenu dans l'eau constitue un excellent terrain de culture. Ces expériences corroborent cette opinion que les microbes passent grâce à leur végétation dans les pores des bougies, et d'autant plus facilement qu'ils y trouvent une nourriture plus abondante, que l'eau par exemple est plus chargée de matière organique ou que les bougies sont moins souvent nettoyées.

Miquel dit aussi que « suivant toutes probabilités, les bactéries peuvent traverser les filtres en biscuit, grâce à leur multiplication possible de proche en proche à travers les substances poreuses filtrantes, et les traverser de part en part dans un laps de temps plus ou moins long. »

Stérilisation des bougies filtrantes.

On vient de voir qu'au bout d'un certain temps, variable avec la température, la nature de l'eau, la pression, la qualité des bougies, les microbes commencent à passer au travers de celles-ci, quels que soient d'ailleurs le mode et la fréquence des nettoyages.

Cet inconvénient disparaîtrait si l'on pouvait fréquemment les stériliser facilement sans grande dépense.

La nécessité de cette opération a d'ailleurs été comprise par la plupart des propagateurs de ces bougies filtrantes. Nous avons vu que l'on recommande pour les filtres Chamberland, après les avoir nettoyés à la brosse, de les faire bouillir dans de l'eau acide, ce qui a pour but évidemment de tuer les bacilles qui ont pu pénétrer dans les pores de la porcelaine.

Pour les filtres Berkefeld, leur très grande fragilité exige les précautions particulières que j'ai indiquées.

On recommande dans l'instruction des filtres Mallié, de les laver à l'eau bouillante, etc., etc.

L'ingénieur O. André a proposé d'appliquer à ses appareils un mode de stérilisation par la chaleur qui consiste à faire bouillir, sous une légère pression et en présence de carbonate de potasse, l'eau contenue dans l'appareil. Mais il faut employer un four-

neau spécial ou un brûleur à gaz ce qui augmente la dépense, enfin il faut faire du feu, ce qui rend l'opération un peu longue et un peu gênante, ensuite les joints en caoutchouc tendent à s'altérer sous l'influence de cette température que l'on doit maintenir au moins pendant un quart d'heure.

Le docteur Linon a fait connaître l'emploi ingénieux qu'on a fait d'une étuve Geneste et Herscher, sous pression, pour stériliser les bougies Chamberland.

« L'eau de Versailles étant très chargée de matières terreuses et de matières organiques, le rendement des bougies diminue très rapidement par suite de leur encrassement. L'emploi journalier de la brosse pour le lavage des bougies à l'eau froide ne suffit pas pour rétablir leur perméabilité. Des expériences comparatives très sérieuses ont été faites pour se rendre compte du meilleur mode de nettoyage au point de vue de leur rendement. Elles ont porté sur la stérilisation des bougies par trois procédés différents :

1° Par le lavage à l'eau bouillante prévu par les circulaires ministérielles du 22 juillet 1889 et du 7 février 1890:

2° Par le passage au four à flamber porté à 150° (chaleur sèche) ;

3° Par l'introduction dans l'étuve Herscher, sous la pression de quatre atmosphères, suivie d'une prompte décompression.

Dans les trois épreuves, l'eau fournie par les bou-

gies était réellement stérilisée, comme, l'ont démontré les expériences bactériologiques ultérieures, mais les rendements étaient bien différents.

Avec une pression de deux atmosphères produite dans le même condensateur sur quinze bougies stérilisées et cinq simplement brossées à l'eau froide, les résultats ont été les suivants :

	Rendement par bougie.
1° Brossage sans stérilisation..........	25 litres.
2° Brossage avec stérilisation à l'eau bouillante........................	29 —
3° Brossage avec stérilisation dans le four à flamber..................	38 —
4° Brossage avec stérilisation dans l'étuve Herscher..................	42 —

Les expériences ont été multipliées sur différentes séries de bougies, et les résultats ont toujours été identiques. Il en résulte que le mode de stérilisation des bougies par l'étuve est le plus simple, le plus rapide, le moins onéreux, et enfin, le plus avantageux, puisqu'il donne un rendement bien supérieur aux autres procédés. »

Il y a à ce procédé un inconvénient sérieux, c'est que tout le monde n'a pas à sa disposition une étuve sous pression, ou même un autoclave ; ce procédé est inapplicable, par exemple, pour les filtres domestiques.

Tous les procédés en général qui nécessitent un appareil spécial ou l'action de la chaleur doivent être rejetés comme trop coûteux ou trop compliqués.

Il serait donc à désirer qu'on pût faire la stérilisation à *froid*. Le procédé qui se présente naturellement à l'esprit consiste à mettre les bougies en contact avec une dissolution d'une substance antiseptique, de façon à ce que cette substance baigne les surfaces interne et externe des bougies, et pénètre à l'intérieur des pores.

Mais par cela même qu'elle sera antiseptique, cette substance sera plus ou moins toxique ; il faudra donc s'assurer, avant de se servir de l'eau filtrée, qu'elle a complètement disparu des bougies et de toutes les parties de l'appareil, si on fait cette stérilisation dans le filtre même sans démonter les bougies comme je l'expliquerai plus loin. On ne peut nécessairement songer à déceler cette substance par un procédé chimique quelconque ; il faut que la première personne venue puisse reconnaître facilement le moment de l'élimination complète de cette substance ; il faut aussi que les personnes chargées de surveiller le fonctionnement du filtre soient averties, par un signe certain, que l'on a bien procédé à la stérilisation.

E. Lacour avait déjà eu l'idée de substituer la stérilisation par un liquide antiseptique à l'action de la chaleur. Il avait proposé l'alcool, qui lui a donné chaque fois des stérilisations complètes. Mais, même en opérant avec soin de façon à faire resservir plusieurs fois le même alcool, c'est un procédé coûteux, et, comme le reconnaît l'auteur lui-même, pas très pratique lorsqu'on fait usage de filtres à nombreuses bougies comme dans les casernes, hôpitaux,

collèges, etc. Aussi a-t-il remplacé l'alcool par une solution d'alun renfermant 10 grammes de ce sel par bougie ; mais déjà pour cinquante bougies, il faudra 500 grammes d'alun, et comme la stérilisation a besoin d'être faite assez fréquemment, cela deviendrait coûteux aussi à la longue. En outre, l'alun étant une substance incolore, ne me paraît pas remplir toutes les conditions que j'indiquais plus haut ; et de plus, c'est une substance faiblement antiseptique.

Le permanganate de potasse, au contraire, m'a semblé répondre à tous ces desidérata.

Voici comment il convient de procéder à une stérilisation : Dans les filtres ordinaires, après avoir démonté les bougies pour les brosser et les rincer individuellement à l'eau froide, on les plonge dans une solution de permanganate à 1 pour 1000. Si on a un récipient assez grand, on s'arrange pour que les bougies soient complètement immergées, mais cela n'est pas absolument nécessaire. Ainsi j'ai souvent fait l'opération en plaçant la bougie dans une éprouvette en verre sans que le téton fût immergé, et j'ai constaté que la liqueur rouge remplissait rapidement l'intérieur de la bougie en traversant la porcelaine poreuse. On laisse ainsi les bougies en contact avec la liqueur antiseptique environ un quart d'heure, on les secoue pour faire écouler le liquide qui a pénétré à l'intérieur, on les rince à l'eau froide et on les remet en place ; on ne recueille l'eau filtrée que lorsquelle est tout à fait

incolore, ce qui ne demande que quelques minutes comme il est facile de s'en assurer.

Ce mode de stérilisation peut évidemment s'appliquer à tous les filtres de porcelaine, d'amiante ou de pierre.

L'opération est, comme on l'a vu, des plus faciles ; elle devient une des parties du nettoyage, indispensable avec tous les filtres. Mais combien elle est simplifiée lorsqu'on se sert des filtres Chamberland, système Pasteur, à nettoyeur mécanique O. André ! On évite ainsi le démontage des bougies, opération possible quand on a affaire à un très petit nombre de bougies, mais qui devient singulièrement pénible quand il y en a un grand nombre, comme je l'ai montré, d'ailleurs, à propos du nettoyage du filtre Chamberland.

Etant donné le filtre muni d'un nettoyeur mécanique, voici le mode opératoire : On introduit, par l'ouverture supérieure de l'appareil, le courant d'eau étant nécessairement arrêté, et après un nettoyage préalable avec les frottoirs en caoutchouc, une solution de permanganate à 1 millième et on ferme cette ouverture ; on laisse en contact un quart d'heure, puis on rétablit le courant d'eau afin de faire passer cette solution à travers les bougies et *au contact de toutes les parties formant réservoir ;* il y aurait lieu peut-être de modifier légèrement le récipient métallique qui reçoit l'eau filtrée, afin d'assurer un contact encore plus intime avec la solution de permanganate ; au bout d'un quart d'heure, on arrête l'eau, on fait écouler la solution contenue dans l'ap-

pareil, on rince deux ou trois fois à l'eau ordinaire, puis on rétablit définitivement le courant d'eau, et on ne recueille celle-ci que lorsqu'elle sort parfaitement incolore, ce qui demande seulement quelques minutes. La couleur si intense du permanganate permet de reconnaître facilement le moment où il a été complètement éliminé de l'appareil.

Je n'ai pas besoin de rappeler les propriétés antiseptiques de ce sel, qui stérilise parfaitement et à froid, plus rapidement à chaud bien entendu, toutes les parties du filtre ; j'ai fait quatre fois l'expérience et chaque fois j'ai obtenu des résultats absolument négatifs avec l'ensemencement de l'eau dans la gélatine et dans la gélose. Le permanganate a un autre avantage ; en même temps qu'il produit une stérilisation parfaite, il nettoie les bougies de porcelaine en oxydant les matières organiques glutineuses qui imprègnent ces bougies non seulement à l'extérieur, mais qui pénètrent aussi dans les pores de la porcelaine pour les boucher ; en effet, comme on a soin de faire passer, en rétablissant le courant d'eau, le permanganate à travers tous les pores de la bougie de porcelaine, il s'ensuit qu'il brûle toutes les matières organiques qui y sont engagées.

Mais, dira-t-on, vous rentrez dans l'inconvénient de l'emploi d'un antiseptique, vous proposez un corps caustique, le permanganate de potasse ; et, bien que celui-ci doive être totalement éliminé avant de recueillir l'eau filtrée destinée à la consommation, ce qui, en réalité, est facile, puisque l'eau qui contient du permanganate est colorée en rose, quel

inconvénient en résulterait-il cependant si, par inattention, on recueillait dans les réservoirs de l'eau renfermant encore un peu de permanganate? La dilution du sel serait telle qu'évidemment aucun danger ne pourrait résulter de l'ingestion de cette eau. On a vu, en effet, que le docteur Lereboullet en faisait boire aux hommes de son régiment sans le moindre inconvénient. Il y a plus, et c'est là une propriété heureuse de cet antiseptique, il se détruit au fur et à mesure de son action en se transformant en un corps, le bioxyde de manganèse, qui, étant insoluble, se précipite facilement et qui, d'autre part, non seulement est absolument inoffensif, mais même est employé en thérapeutique comme succédané des préparations ferrugineuses, de sorte que l'eau qui renfermerait primitivement un peu de permanganate n'en retiendrait plus trace au bout de quelques heures.

Tous les procédés publiés jusqu'à ce jour pour stériliser l'eau à froid par le permanganate ne me paraissent pas pratiques. En effet, il faut, pour obtenir une stérilisation certaine, ajouter un excès de permanganate, c'est-à-dire colorer nettement l'eau d'une façon persistante et laisser ainsi en contact quelque temps. Dans ces conditions, le résultat est certain : l'eau ne renferme plus de microbes ni même de matière organique. Mais comme on ne peut laisser consommer cette eau chargée d'un excès de permanganate (bien qu'un très léger excès n'ait aucun inconvénient pour la santé, comme je viens de le rappeler, jamais le public ne consentira

à regarder comme potable une eau colorée), il s'agit d'enlever cet excès, et c'est ici que commencent les difficultés. Les uns, comme Chicandard, proposent l'addition de poudres végétales (écorce de chêne, quinquina, café, etc.) qui transforment l'excès de permanganate en bioxyde qui se dépose; mais alors l'eau renferme un excès de ces substances qui lui donnent une saveur spéciale; et puis, vraiment, est-il pratique, et au point de vue des manipulations à effectuer et au point de vue de la dépense, d'opérer ainsi lorsqu'il s'agit de grands volumes, plusieurs mètres cubes, comme dans l'armée, les hôtels, les pensions, etc.? Les autres, comme Mlle Schipiloff, ajoutent de l'eau-de-vie, du sucre. Ici encore, c'est une véritable manipulation chimique qu'il n'est pas possible de faire accepter au public. Je crois, au contraire, qu'en opérant comme je l'ai indiqué plus haut, cette stérilisation à froid, avec élimination totale du permanganate, devient des plus faciles; elle se fait en même temps que le nettoyage des bougies. Il n'est pas nécessaire de faire cette stérilisation tous les jours, puisque de nombreux expérimentateurs (de Freudenreich, Koch, Lacour-Aymard, Miquel, moi-même) ont démontré que les microbes ne passent pas à travers les bougies de porcelaine avant plusieurs jours. Des expériences préliminaires (faciles à faire faire dans l'armée par le Service de santé) indiqueront une fois pour toutes, d'après la nature de l'eau à filtrer, le nombre de jours pendant lesquels l'eau passe à l'état de pureté, et, par suite, les intervalles de temps qu'il faudra

mettre entre chaque stérilisation par le permanganate : l'opération, étant rapide et peu dispendieuse, pourra être répétée aussi souvent qu'on le voudra. On m'a fait l'objection qu'au bout d'un certain temps, le bioxyde qui se forme sur et dans les bougies finirait par les obstruer. Quand l'eau à filtrer est presque dépourvue de matières organiques, comme l'eau de la Vanne à Paris, il ne se fait pas de dépôt appréciable de bioxyde, ce que l'on constate facilement à ce fait, qu'après le rinçage les bougies demeurent blanches. Au contraire, si l'eau est très chargée de matières organiques (pour exagérer ce phénomène, j'ai ajouté dans l'eau à filtrer du lait et de la terre), on voit que, même après le rinçage, les bougies sont colorées en brun, coloration due évidemment au dépôt de bioxyde. Même dans ce cas absolument défavorable, mes expériences prouvent que le permanganate n'a pas diminué le débit.

Tout le monde sait qu'au bout d'un certain temps les bougies de porcelaine, quelque soit le mode de nettoyage employé, voient leur débit diminuer peu à peu. J'ai cherché un moyen propre à leur rendre leur débit primitif, sans avoir besoin de les démonter et, bien entendu, sans les altérer le moins du monde. Il m'a suffi, après l'action du permanganate, *cette fois à 5 p. 1.000* de faire exactement la même opération avec une solution de bisulfite de soude à 1 p. 20. Cette solution se prépare avec la solution commerciale de bisulfile de densité 1,300, en mêlant 50 centimètres cubes de cette solution à 950 centimètres cubes d'eau. Il est bien d'y ajouter au moment

de l'emploi 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ordinaire par litre.

Voici d'ailleurs un tableau relatant mes expériences faites avec les deux appareils Chamberland-Pasteur, à nettoyeur mécanique, de six bougies chacun, posées sur une même conduite et fonctionnant sous une pression de 20 mètres, dans ces conditions les opérations sont tout à fait comparables.

DATES	MODES DE NETTOYAGE	DÉBITS EN LITRES PAR HEURE	
		Appareil n° 1.	Appareil n° 2.
25 août.	Nettoyage ordinaire avec les frottoirs.	82,7	57,1
26 août.	Nettoyage ordinaire.		
26 6h.	(On ajoute dans chaque filtre 250 gr. de lait et une pincée de terre).		
26 9h.	. . . .	0,380	0,375
27 août.	Avant nettoyage.	Le débit était presque arrêté.	
	Après nettoyage ordinaire	0,550	5,0
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	7,450
28 août.	Après nettoyage ordinaire.	1,440	12,650
	Après permanganate à 5/1000 dans les 2.	5,0	17,140
	Après bisulfite dans le n° 1.	100,0	. . .
29 août.	Avant nettoyage.	60,0	8,570
	Après nettoyage.	75,0	12,0
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	15,0
30 août.	Avant nettoyage.	54,540	8,570
	Après nettoyage.	66,660	10,0
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	12,0
31 août.	Avant nettoyage.	46,150	8,570
	Après nettoyage.	54,540	9,230
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	10,0
1er sept.	Avant nettoyage.	30,0	7,500
	Après nettoyage.	40,0	8,570
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	8,570
2 sept..	Avant nettoyage.	24,0	7,500
	Après nettoyage.	30,0	7,500
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	8,0
3 sept..	Avant nettoyage.	24,0	6,660
	Après nettoyage	30,0	7,500
	Après permanganate dans le n° 2. . .	. . .	7,540
4 sept..	Avant nettoyage.	24,0	6,310
	Après nettoyage.	30,0	6,660
	Après permanganate dans le n° 2. . .	. . .	7,050

DATES	MODES DE NETTOYAGE	DÉBITS EN LITRES PAR HEURE Appareil n° 1.	DÉBITS EN LITRES PAR HEURE Appareil n° 2.
5 sept..	Avant nettoyage.	20,0	5,0
	Après nettoyage.	30,0	5,0
	Après permanganate dans le n° 1. . .	. . .	5,0
6 sept..	Avant nettoyage.	20,0	5,450
	Après nettoyage.	30,0	6,0
	Après permanganate dans le n° 2. . .	. . .	6,0
7 sept..	Avant nettoyage.	20,0	5,0
	Après nettoyage.	30,0	6,0
	Après permanganate dans le n° 2. . .	. . .	6,0
8 sept..	Avant nettoyage.	20,0	5,0
	Après nettoyage.	30,0	5,450
	Après permanganate dans le n° 2. . .	. . .	5,450
10 sept.	Avant nettoyage.	12,0	4.280
	Après nettoyage.	15,0	4,280
	Après permanganate dans le n° 2. . .	. . .	4,280
11 sept.	Avant nettoyage.	12,0	4,280
	Après nettoyage.	15,0	4,280
	Après permanganate à 5/1000 dans les 2.	60,0	5,0
	Apr. acide chlorhydrique à 5/1000 d. les 2.	90,0	6,0
	Après bisulfite à 1/20 dans les 2 . . .	120,0	120,0
13 sept.	Avant nettoyage.	80,0	45,0
	Après nettoyage.	97,0	64,300
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	62,0
14 sept.	Avant nettoyage.	72,0	48,0
	Après nettoyage.	90,0	61,0
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	61,0
15 sept.	Avant nettoyage.	65,450	42,350
	Après nettoyage.	80,0	60,0
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	60,0
16 sept.	Avant nettoyage.	60,0	40,0
	Après nettoyage.	72,0	55,380
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	55,380

DATES	MODES DE NETTOYAGE	DÉBITS EN LITRES PAR HEURE	
		Appareil n° 1.	Apparei n° 2
17 sept.	Avant nettoyage.	51,430	40,0
	Après nettoyage	60,0	48,0
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	48,0
18 sept.	Avant nettoyage.	50,0	36,73
	Après nettoyage.	52,170	39,57
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2	. . .	40,0
19 sept.	Avant nettoyage.	48,0	36,0
	Après nettoyage.	51,430	39,13
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	40,0
20 sept.	Avant nettoyage.	45,0	34,28
	Après nettoyage.	48,0	37,89
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2	. . .	39,13
21 sept.	Avant nettoyage.	30,500	30,0
	Après nettoyage.	40,0	32,72
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	32,72
22 sept.	Avant nettoyage.	26,860	29,55
	Après nettoyage.	34,610	35,29
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	35,29
23 sept.	Avant neltoyage.	27,690	30,0
	Après nettoyage.	32,720	34,28
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	34,28
24 sept.	Avant nettoyage.	28,120	31,30
	Après nettoyage.	34,280	37,89
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	37,89
25 sept.	Avant nettoyage.	26,660	30,0
	Après nettoyage.	30,0	34,28
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	36,0
26 sept.	Avant nettoyage.	25,710	30,0
	Après nettoyage.	30,0	34,76
	Après permanganate à 1/1000 dans le n° 2.	. . .	34,76

DATES	MODES DE NETTOYAGE	DÉBITS EN LITRES PAR HEURE	
		Appareil n° 1.	Appareil n° 2.
28 sept.	Avant nettoyage.	26,660	30,0
	Après nettoyage.	28,800	34,280
	Après permanganate à 1/1000 dans les 2	32,720	34,280
	Après bisulfite à 1/20 dans les 2.. . .	60,0	65,450
30 sept.	Avant nettoyage.	37,890	45,0
	Après permanganate à 5/1000 dans les 2.	51,430	60,0
	Après bisulfite à 1/20 dans les 2. . . .	102,850	102,850

Examinons d'abord l'action du permanganate sur l'appareil n° 2 qui en a reçu tous les jours. On peut constater que l'addition de ce sel, même lorsqu'il recouvre les bougies d'un couche brune de bioxyde de manganèse, comme cela a eu lieu après l'addition du lait dans l'appareil, n'a pas diminué le débit ; au contraire, le filtre qui ne débitait, le 27 août, que 5 litres après nettoyage ordinaire à la poudre, débitait 7 lit. 450 après l'action du permanganate ; le 28 août, le débit passait de 12 lit. 650 à 17 lit. 140, etc. Toutefois, ce qui ressort de l'ensemble des expériences, c'est qu'au bout d'un certain temps, le permanganate à 1 p. 1000 n'augmente plus le débit obtenu après le nettoyage avec la poudre et les frottoirs de caoutchouc ; mais, c'était le point à établir, il ne le diminue pas. C'est ce qui ressort très nettement des expériences qui vont du 13 au 26 septembre ; les deux appareils ont fonctionné dans des conditions identiques, partant tous les deux d'un

même débit, 120 litres par heure; ils ont subi le même nettoyage à la poudre tous les matins; la seule différence, c'est que le n° 1 n'a pas reçu de permanganate et que le n° 2 en a reçu après chaque nettoyage, c'est-à-dire quatorze fois. Eh bien, le 26, le débit qui n'était plus que de 30 litres pour le n° 1, était de 34 lit. 760 pour le n° 2 ; donc, le permanganate n'a pas diminué le débit, même après quatorze additions. Or, si l'on veut bien se rappeler que ce nettoyage au permanganate n'a lieu que de temps en temps, par exemple toutes les semaines, c'est comme si l'expérience avait marché quatorze semaines.

Reprénons l'examen de notre tableau pour nous rendre compte de l'effet produit par l'action du bisulfite de soude.

L'appareil n° 1 qui ne débitait plus que 1 lit. 440, le 28 août, après le nettoyage ordinaire, a vu son débit passer à 5 litres seulement après l'addition du permanganate ; mais après le passage au bisulfite, le débit est devenu 100 litres par heure.

Prenons maintenant l'expérience du 11 septembre. Après le nettoyage ordinaire, les débits étaient, dans les deux appareils, 15 litres et 4 lit. 280; après l'action du permanganate à 5 p. 1000, ils passent à 60 litres et 5 litres ; après l'addition de bisulfite, c'est 120 litres par heure dans les deux appareils. Enfin, les expériences des 28 et 30 septembre confirment ces résultats, puisque les débits sont dans les deux appareils de 102 lit. 850. Toutefois, il ressort de ces dernières expériences que l'addition du

permanganate à 1 p. 1000 n'est pas suffisante pour ce nettoyage à fond; il faut employer la solution à 5 p. 1000. Mais ces nettoyages, que j'appellerai *nettoyages à fond*, n'ont besoin d'être effectués que trois ou quatre fois par an, quand, malgré les nettoyages journaliers, le débit reste trop faible.

Enfin ces tableaux permettent de vérifier encore une fois les remarques que j'ai faites plus haut à propos du nettoyage des bougies par simple frottement, à savoir que le débit baisse peu à peu malgré la fréquence de ces nettoyages pour atteindre une limite qui semble stationnaire au moins pendant la durée de mes expériences.

Comme conclusion je dirai que les bougies en porcelaine, dites bougies Chamberland, constituent jusqu'à présent le meilleur appareil de filtration, elles donnent une eau privée de germes pendant un certain temps, et à l'aide de quelques précautions, peuvent en donner indéfiniment.

Elles peuvent, en effet, être stérilisées à froid au moyen d'une solution de permanganate de potasse à 1 p. 1000. En faisant agir successivement le permangante et le bisulfite de soude, les bougies sont complètement débarrassées des matières organiques qui se sont accumulées dans leurs pores, et récupèrent leur débit primitif.

En résumé. on pourrait formuler ainsi une instruction pour l'entretien des filtres Chamberland :

1° Faire *tous les jours* un nettoyage superficiel par frottement;

2° Faire *toutes les semaines* (plus souvent, seu-

lement si l'eau est très impure) une stérilisation à froid au moyen d'une solution de permanganate à 1 p. 1000;

3° Faire *trois ou quatre fois par an* un nettoyage à fond en faisant usage successivement d'une solution de permanganate à 5 p. 1000 et d'une solution de bisulfite à 1 p. 20.

Dans ces conditions l'eau filtrée sera sûrement privée de tout microbe, et les mêmes filtres pourront servir presque indéfiniment.

CHAPITRE IV

Stérilisation des eaux par la chaleur.

I. — Action de la chaleur sur les eaux.

On entend par ***stérilisation***, la destruction ou l'élimination des microbes. Nous avons étudié, dans les chapitres précédents, les dispositifs employés pour l'***élimination*** des microbes contenus dans les eaux. La ***destruclion*** de ces mêmes microbes constitue, au point de vue théorique, une meilleure solution.

Elle peut s'effectuer par deux méthodes générales : ou introduire dans les eaux des réactifs capables de faire périr toutes les bactéries qu'elles contiennent, ou soumettre les eaux à une température capable d'amener aussi leur mort. Nous connaissons la première méthode, nous n'avons par conséquent à étudier maintenant que l'action de la chaleur sur les eaux.

Miquel et son élève Wada ont étudié d'une façon systématique l'action de températures successives sur

l'eau ordinaire au point de vue bactériologique. Rappelons ces expériences aujourd'hui classiques :

« Dans une marmite de fonte de 4 litres à 5 litres portée vers 300° et refroidie, on introduit l'eau sur laquelle on veut expérimenter. Cette eau fait immédiatement l'objet d'une première analyse, puis on la porte brusquement, par exemple à 45°; après l'avoir maintenue un quart d'heure à cette température, on fait un second dosage ; nouvelle ascension brusque de l'eau à 50°, puis après 15 minutes, nouvelle analyse, ainsi de suite jusqu'à 100°. Un système de chauffage puissant doit permettre l'élévation très rapide du liquide aux étapes thermométriques indiquées, la durée de ces ascensions successives n'a pas excédé une demi-minute. Il va sans dire que l'on a pris toutes les précautions usitées en bactériologie contre la contamination étrangère pendant les manipulations.

Voici les résultats obtenus avec de l'eau puisée en juin 1884 au robinet de l'observatoire de Montsouris.

Température de l'eau.	Bactéries par centimètre cube.
—	—
20°	464
45° pendant 15 minutes	396
55° — —	33
65° — —	20,8
75° — —	9,6
85° — —	6,6
95° — —	2,8
100° — —	3,3

La même eau abandonnée à 24° après l'ébullition donne :

Après 24 heures	2,4
Après 48 heures	116

Une autre expérience faite de la même façon avec de l'eau de la Seine puisée à Ivry, au voisinage des pompes élévatoires de Port-à-l'anglais, a donné les résultats suivants :

Température de l'eau.	Bactéries par centimètre cube.
—	—
22°	848
43° pendant 15 minutes	640
50° — —	132
60° — —	40
70° — —	27,2
80° — —	26,4
90° — —	14,4
100° — —	5,2

La même eau abandonnée à 27° après l'ébullition donne :

Après 24 heures	2,6
Après 48 heures	1072

Ces deux tableaux prouvent que le chiffre des bactéries des eaux potables va en diminuant avec des vitesses variables, de la température ordinaire à 100.

Dès la température ordinaire à 45°, on voit les eaux s'appauvrir faiblement en bactéries, ce qui tient à ce que la plupart des microbes supportent

assez aisément ce degré de chaleur déjà désagréable pour les espèces animales ; cependant plusieurs micrococcus et quelques bactériums fragiles sont fortement touchés, et, si la température de 45° est longtemps maintenue, on les voit disparaître peu à peu et pour toujours.

A 50° et 55°, les tableaux accusent une baisse très notable (de 10 à 1) dans le nombre des organismes microscopiques vivant dans les eaux potables, ce qui est dû à la disparition prompte et définitive des bactériums communs et de beaucoup de microcoques.

A 60°, les mucédinées, les algues et la majorité des coccus périssent à leur tour.

De 60° à 80°, l'analyse qualitative n'accuse pas une diminution bien sensible du chiffre des microbes ; à l'exception de quelques espèces rares qui ont la singulière faculté de pulluler vers 70°, les bactéries adultes sont mortes et le liquide ne renferme plus que leurs germes qui vont à leur tour s'affaiblir et disparaître plus ou moins complètement sous l'action croissante de la chaleur.

Les liquides nutritifs ensemencés avec de l'eau portée entre 60° et 70° se peuplent à peu près exclusivent d'espèces bacillaires.

Après quinze minutes d'ébullition, les échantillons d'eau sur lesquels j'ai opéré renfermaient encore en moyenne quatre germes de bacilles par centimètre cube.

Je désire surtout insister sur ce point capital, à savoir que l'ébullition maintenue pendant quelque temps purge l'eau d'organismes microscopiques

dans la proportion de 995 sur 1000. Ces chiffres n'ont rien d'absolu et dépendent, on le comprend aisément, de la nature des microbes répandus dans les eaux. Si une eau renferme uniquement des bactériums et des microcoques, une ébullition de quelques minutes suffit pour la purifier complètement; si, au contraire, les germes des bacilles y sont nombreux, sa purification est lente, pénible, incomplète, et ne peut être obtenue même au prix d'une température de 100° soutenue pendant plusieurs heures. »

Wada a opéré d'une façon un peu différente; au lieu de chauffer successivement la même eau à des températures de plus en plus élevées, il introduisait l'eau tirée au robinet dans un vase métallique de faible dimension, puis l'élevait rapidement à 50°; il faisait une seconde expérience dans les mêmes conditions et élevait cette nouvelle dose d'eau à 60°, et ainsi de suite; la durée de l'ascension de la température a varié de 3 à 10 minutes; enfin la température était maintenue pendant 10 minutes et on ensemençait ensuite des plaques de gélatine peptonisée.

Eau de l'Ourcq.

Température de l'eau.	Bactéries par centimètre cube.
14°	460.800
50° pendant 10 minutes	600
60° — —	60
70° — —	88,8
80° — —	62,4
90° — —	26,4
100° — —	0,5
100° — 20 minutes	0,0

Eau de la Vanne puisée au réservoir de Montrouge.

Température de l'eau.	Bactéries par centimètre cube.
—	—
13°	4.800
50° pendant 10 minutes	175
70° — —	3
80° — —	1,7
90° — —	0,3
100° — —	0,0
100° — 20 minutes	0,0

Toutes ces expériences de Miquel et de Wada démontrent que c'est entre les températures de 14 et de 50° que disparaissent la majeure partie des microorganismes des eaux. Passé 90°, ils deviennent excessivement rares; à 100°, on constate difficilement la survivance d'une bactérie par centimètre cube quand on emploie la gélatine nutritive.

Ces eaux, si appauvries en microorganismes par quelques minutes d'ébullition, récupèrent assez rapidement le chiffre des bactéries perdues, quand on les abandonne au contact de l'air.

On voit, en résumé, qu'un chauffage de dix minutes à l'ébullition débarrasse les eaux suspectes de presque tous les microbes qu'elles renferment; comme l'expérience a démontré, d'autre part, que toutes les bactéries pathogènes sont détruites à 100°, il en résulte que les microbes restant dans l'eau sont inoffensifs, et par suite que cette ébullition préalable des eaux est un moyen prophylactique excellent contre les épidémies qui ont pour

origine la diffusion des bactéries par les eaux potables. Aussi ce procédé a-t-il été vivement recommandé par un grand nombre d'hygiénistes ; mais il comporte, comme tous les procédés, un certain nombre d'inconvénients sur lesquels nous allons revenir tout à l'heure.

Disons immédiatement qu'il ne produit pas la destruction certaine de *tous* les microbes. On a donc voulu faire mieux, et l'on a proposé de chauffer l'eau au dessus de 100°, à 115°-130°, c'est-à-dire à des températures où aucun microbe connu, à l'état adulte ou à l'état de spore, ne reste vivant. C'est là un fait passé à l'état d'axiome en bactériologie ; on peut dire que toute cette science s'appuie sur cette proposition, que tout germe vivant est irrémédiablement détruit aux températures que je viens d'indiquer, et en présence de la vapeur d'eau, car à l'état sec, certains microbes résistent beaucoup plus haut.

Donc, au point de vue théorique, voici le procédé idéal de stérilisation des eaux trouvé : chauffer ces eaux à une température de 115°-120° ; mais, en pratique, le problème ne laisse pas que d'être assez compliqué, comme va nous le démontrer la description des appareils qui ont été proposés pour réaliser cette opération.

Je voudrais, avant de passer à cette description, dire quelques mots des propriétés de l'eau bouillie. Il y a longtemps qu'on avait cette notion vague que l'ébullition de l'eau corrigeait ses défauts, et chez bien des peuples la coutume de ne boire que de l'eau

bouillie est fort ancienne; le plus souvent cette eau est aromatisée avec des plantes variées, dont la plus répandue est le thé.

On a fait à l'eau bouillie une mauvaise réputation qu'à mon avis, elle mérite en partie. On lui reproche d'être lourde, indigeste, fade, non aérée et d'avoir perdu sa valeur nutritive par suite de la précipitation des sels calcaires et magnésiens.

Guinard a fait un certain nombre d'expériences pour montrer que ces reproches sont peu fondés. Il a d'abord cherché la modification du degré hydrotimétrique ; dans les eaux qu'il a examinées, ce degré est tombé de 15 à 12, de 16 à 11, de 41 à 26, de 52 à 34. L'eau du Rhône bouillie contient encore de 10 à 11 centigrammes de sels de chaux par litre, ce qui est bien suffisant, car bon nombre d'eaux regardées comme excellentes n'en contiennent pas tant.

Il a dosé aussi les gaz contenus dans l'eau avant et après 45 minutes d'ébullition ; l'eau était ensuite abandonnée à l'air pendant 20 heures. Voici les chiffres concernant l'eau du Rhône prise dans le fleuve à la hauteur du pont de la Guillotière.

	Avant l'ébullition.	20 heures après.
Acide carbonique. .	1,1	0,3
Oxygène	1,3	1,1
Azote.	3,0	2,6

Sur l'eau d'un puits qui contenait $5^{cc}7$ d'acide carbonique avant l'ébullition, il n'a plus trouvé, au bout de 24 heures, que $0^{cc}3$ de ce gaz ; mais l'oxy-

gène et l'azote avaient, comme dans le cas précédent, récupéré presque complètement leur proportion initiale d'oxygène et d'azote, par dissolution de l'air ambiant.

Ces expériences prouvent, ce dont on se doutait déjà par les innombrables analyses hydrotimétriques qui portent toujours sur l'eau avant et après ébullition, que la richesse minérale d'une eau bouillie est toujours suffisante pour les besoins alimentaires; Il n'y a en effet que le carbonate de chaux et le carbonate de magnésie qui soient éliminés et nos aliments solides sont toujours assez riches en sels de chaux et de magnésie pour que la quantité enlevée à l'eau soit insignifiante. Il est vrai qu'elles tendent aussi à rassurer au point de vue de leur teneur en gaz; il n'en est pas moins vrai que peu de temps après l'ébullition, l'eau ne contient presque plus de gaz et qu'elle est lourde et indigeste; il faut attendre longtemps en laissant l'eau exposée en large surface à l'air, ou bien il faut, si on veut aller plus vite, la battre au contact de l'air, de façon à lui faire récupérer une partie de ses gaz. Bien qu'il ne faille pas exagérer le danger de l'introduction des bactéries vulgaires de l'air dans l'eau, on avouera que ce n'est pas là un procédé que recommanderaient volontiers les hygiénistes, car on a vu par les expériences de Miquel que si l'eau récupère volontiers les gaz qu'elle a perdus, elle récupère encore bien mieux ses bactéries.

Enfin, il suffit d'avoir bu de l'eau bouillie, même parfaitement aérée, pour savoir qu'elle a une saveur

fade absolument désagréable, et jamais on ne verra le public consentir à faire sa boisson d'une eau semblable; cela est si vrai que, comme je le rappelais, partout où on emploie l'eau bouillie, on a coutume de l'aromatiser avec des feuilles de thé, de melisse, des fleurs de tilleul, etc.

Il y a une autre objection, c'est la dépense, la longueur de l'opération et l'ennui de cette manipulation qui font que jamais l'usage de l'eau bouillie ne se répandra. Ce qui n'empêche pas que c'est un moyen à recommander dans certaines circonstances déterminées, comme l'emploi des réactifs chimiques, en temps d'épidémie, dans des régions où on n'a à sa disposition que des eaux suspectes, etc.



II. — Appareils stérilisateurs

Le problème une fois posé, et consistant à chauffer l'eau pendant un temps suffisant, à une température capable de faire périr tous les micro-organismes, les constructeurs se sont mis à l'œuvre et en quelques années le nombre des appareils mis en expérience est déjà assez considérable.

L'ingénieur Tellier a adressé à l'Académie des sciences un mémoire sur l'emploi de l'eau bouillie à l'aide d'un appareil permettant de cuire l'eau à une température élevée, de la conserver aérée, de la filtrer ensuite et de filtrer également l'air qui rentre dans l'appareil pour remplacer l'eau consommée. Il

a présenté aussi son projet à la Société de médecine pratique le 25 mai 1887. Je n'ai pas connaissance que ce projet ait été mis à exécution au moins d'une façon courante.

Je vais donc passer à la description des appareils qui ont fait le plus parler d'eux depuis ces dernières années.

Appareil Rouart.

Cet appareil, tel qu'il a fonctionné en 1892 à Brest, se composait essentiellement des parties suivantes :

1° Une *chaudière* du genre Field à 19 tubes verticaux, s'alimentant au moyen d'un collecteur annulaire duquel partent de petits tuyaux plongeant jusqu'à la partie inférieure des tubes de pourtour ; cette chaudière est munie, outre les appareils de sûreté ordinaires, d'un thermomètre et d'un siphon de vidange, permettant de faire baisser le niveau de l'eau au dessous de la prise d'eau stérilisée, de façon à intercepter, à la fin de chaque opération, la communication entre la chaudière et le reste de l'appareil.

L'alimentation de la chaudière était faite avec de l'eau provenant de l'échangeur et déjà élevée à une température voisine de 100°.

2° Un *échangeur* consistant en un serpentin traversé de bas en haut par l'eau chaude (110° à 130°) sortant de la chaudière ; ce serpentin est plongé dans un récipient dans lequel une pompe d'alimentation introduit l'eau à stériliser. Cette eau, à la température ordinaire, a donc pour but de refroidir l'eau

stérilisée circulant dans le serpentin, et en même temps elle s'échauffe naturellement ; c'est à cause de ce double phénomène : refroidissement de l'eau stérilisée et échauffement de l'eau à stériliser que ce serpentin porte le nom d'échangeur... de températures. C'est là un dispositif ingénieux, mais qui n'a rien d'original, car il est employé couramment dans un grand nombre d'industries.

3° Un *complément d'échangeur*. C'est tout simplement un deuxième serpentin, refroidi par un courant d'eau d'un débit à peu près égal au précédent et s'écoulant librement ensuite. L'eau sortant de l'échangeur et qui est encore à une température trop élevée, passe dans ce second serpentin ;

4° Un *clarificateur* consistant en un petit filtre à sable disposé de manière à pouvoir être nettoyé par un simple renversement de marche.

La pompe d'alimentation à action directe est disposée de manière à refouler d'un côté sur l'échangeur et de l'autre sur le complément d'échangeur, la différence d'effort étant compensée par la grosseur de la tige du piston de vapeur calculée à cet effort.

Appareil Geneste et Herscher.

Cet appareil a fonctionné à Brest, en même temps que le précédent, pour une période d'expériences comparatives.

Les éléments essentiels en sont à peu près les

mêmes et ne diffèrent guère que par leur mode d'agencement.

La *chaudière* est à double compartiment ; la partie inférieure qui est seule chauffée directement par le foyer, produit la vapeur nécessaire pour la pompe de circulation et pour le chauffage de la partie supérieure dans laquelle se rend l'eau à stériliser après avoir traversé un *réchauffeur* tubulaire placé latéralement.

Les deux *échangeurs* sont placés en série et traversés successivement par l'eau réfrigérante ; sur le deuxième, un robinet-jauge sert à évacuer le trop plein de l'eau réfrigérante. Enfin, un *clarificateur* termine l'appareil. Sur le passage du tuyau, avant le clarificateur, se trouve aussi une soupape chargée à 3 kilos par centimètre carré destinée à arrêter le fonctionnement de l'appareil, si la pression descend au-dessous de la pression de régime.

Comparaison des deux appareils précédents. — A la sortie de chaque appareil, l'eau stérilisée était reçue dans deux réservoirs en tôle identiques. Ces réservoirs portent à leur partie inférieure une couronne de robinets et une vidange, et à leur partie supérieure l'arrivée d'eau et une prise d'air garnie de ouate stérilisée, de façon à filtrer l'air qui rentre dans les réservoirs quand on tire de l'eau par le bas.

Voici les résultats des expériences tels qu'ils sont consignés dans un rapport adressé à la direction de la Marine par l'ingénieur des travaux hydrauliques :

« Les expériences faites ont porté sur une durée de

marche de 476 heures pour l'appareil Rouart et 551 pour l'appareil Herscher. Pour ce dernier, on a étudié le chauffage au charbon pendant 455 heures et le coke pendant 96 ; l'appareil Rouart n'a jamais pu marcher d'une manière satisfaisante au coke. Pendant les expériences on a relevé les températures de l'eau au robinet de prise d'eau, à la sortie des appareils, à la suite des échangeurs ; la consommation de charbon et les débits.

Pour l'appareil Herscher, le débit en marche normale a été exactement réglé à 500 litres à l'heure avec un égal débit au trop plein de l'échangeur. Pour l'appareil Rouart, le débit varie un peu avec la pression ; en marche normale, il est de 500 litres d'eau stérilisée pour 500 litres au complément d'échangeur.

La consommation totale d'eau pour une même production d'eau stérilisée est de 1.000 litres pour l'appareil Herscher et de 1.050 pour l'appareil Rouart.

Les autres renseignements sont groupés dans le tableau ci-dessous qui donne les moyennes de toutes les expériences.

	TEMPÉRATURE DE L'EAU			CONSOMMATION PAR HEURE	
	à la prise d'eau.	à la sortie de l'appareil.	à la sortie de l'échangr	Charbon	Coke.
Appareil Rouart. .	9°,66	17°,29	25°,34	9,84	
Appareil Herscher.	9°,66	14°,83	29°,67	11,36	15,45

Ce tableau montre que l'eau sort plus fraîche de l'appareil Herscher, ce qui doit tenir à une meilleure disposition des serpentins réfrigérants ; il est vrai que le trop plein est à une température plus élevée, et par conséquent la chaleur perdue plus forte, ce à quoi on pourrait remédier en déplaçant le robinet de trop plein.

La consommation du charbon est moindre dans l'appareil Rouart, mais il est vrai que la pression n'y est que de 2 k. 5 au lieu de 3 k. 5 dans l'autre appareil.

Afin de se rendre compte de ce qui pourrait résulter d'une négligence des agents chargés de la marche des appareils, on a laissé tomber la pression dans les deux appareils, jusqu'à arriver à la limite inférieure où après cet arrêt ils ne repartaient plus. A partir de la pression de 2 kilos, l'appareil Herscher a une marche très difficile et un débit absolument insignifiant, et il stoppe complètement vers 118° ou 0,80 de pression effective, tandis que l'appareil Rouart continue à marcher jusque vers la pression de 0,500, correspondant à la température de 110° environ, et le débit à ce moment est encore de près de 400 litres à l'heure ; il peut donc arriver que l'eau pénètre dans les réservoirs, insuffisamment stérilisée, et il serait à désirer qu'un arrêt automatique pût fonctionner dès que la température descend au dessous de 120°.

La dépense à laquelle, d'après les expériences, on arriverait pour le mètre cube d'eau stérilisée serait la suivante : 1 fr. 24 pour l'appareil Rouart, 1 fr. 33

pour l'appareil Herscher marchant au charbon et 1 fr. 23 pour le même appareil marchant au coke.

Ce prix paraît pouvoir être facilement ramené à 0 fr. 95 au moyen de chaudières donnant un meilleur rendement et même environ 0 fr. 60 quand la marche des appareils permettra de n'employer qu'un mécanicien.

En résumé, l'appareil Rouart est plus économique, mais il a l'inconvénient de pouvoir marcher au dessous de la température de stérilisation certaine.

Les analyses bactériologiques du docteur Piton ont porté sur des échantillons d'eaux pris dans les réservoirs où l'on conserve l'eau sortant des stérilisateurs ; les bouteilles destinées à les contenir avaient été préalablement bouillies pendant une demi-heure dans de l'eau provenant de ces mêmes réservoirs. Les analyses ont été faites suivant la méthode Péré et ont conduit aux conclusions suivantes : l'eau est exempte de bacille typhique et de bacterium coli commune, mais il s'est développé du bacillus subtilis dans un des échantillons, ce qui pourrait être dû ou à une contamination du réservoir ou à ce que dans un des essais il y a eu marche à la limite de pression indiquée plus haut.

Les analyses chimiques ont été faites par le pharmacien principal de la marine Rouhaud. Les eaux contenues dans toutes les parties des appareils et même dans les réservoirs manquaient complètement de limpidité et étaient de plus chargées de fer. Des résultats obtenus, on a tiré les conclusions

suivantes : 1° les deux appareils fonctionnent dans des conditions identiques, quant à la qualité de l'eau qu'ils produisent et en se plaçant au point de vue chimique ; 2° la composition de l'eau, en ce qui concerne les sels minéraux en dissolution, n'est pas sensiblement modifiée ; 3° l'eau perd les deux tiers environ de son oxygène dissous, perte qui résulte de l'oxydation de la matière organique et aussi probablement de l'oxydation du fer ; en passant dans les réservoirs, elle récupère en partie l'oxygène perdu. »

Enfin, dans une note inédite, communiquée par Pouchet à A.-J. Martin, on trouve les résultats suivants concernant la valeur bactériologique de l'eau produite dans chaque appareil :

« 1° Eau stérilisée recueillie dans des bouteilles lavées à l'eau stérilisée et bouchées avec des bouchons flambés et recouverts de cire. Ces échantillons ont été prélevés en juillet 1891 chez Rouart, lors de l'essai d'un appareil débitant 500 mètres cubes par 24 heures et destiné aux casernes d'infanterie de marine de Brest. Analyses effectuées en juin 1892. Les bouteilles ont été conservées dans un appartement sans précautions spéciales. Une seule a fourni 80 mucédinées par centimètre cube ; pas de bactéries.

2° Eau du même appareil installé à Brest. Echantillon prélevé en mars 1892 et analysé en juin 1892 : 7.566 colonies par centimètre cube, dont 250 mucédinées ; la presque totalité des bactéries est constituée par du bacterium termo.



3° Eau de l'appareil Geneste-Herscher, installé aussi à Brest. Echantillons prélevés en mars 1892 et analysés en juin 1892 : 541 colonies par centimètre cube, dont 50 mucédinées.

Dans ces deux cas, il s'agit d'espèces banales provenant vraisemblablement de l'air. »

On voit que les résultats étaient encore loin d'être parfaits, soit au point de vue du fonctionnement et de la dépense, soit même au point de vue bactériologique. Aussi les constructeurs, sur le conseil même de l'ingénieur chargé du rapport précédent, ont-ils fusionné leurs appareils pour en faire un nouveau qui présente les dispositions suivantes :

Appareil Rouart, Geneste, Herscher et Cie (Fig. 46).

Cet appareil présente naturellement les mêmes parties que les deux précédents. L'eau d'alimentation traverse d'abord un *filtre dégrossisseur*, formé de sable de moyenne grosseur, destiné à arrêter les plus grosses impuretés et à empêcher ainsi l'embourbement des appareils.

A sa sortie, l'eau se bifurque en deux courants traversant chacun successivement de bas en haut un échangeur à serpentin et un échangeur capillaire. Ces deux courants, qui se trouvent alors portés à une température de plus de 100 degrés, à cause de leur contact avec les deux échangeurs, se réunissent pour pénétrer dans la chaudière ou réchauffeur.

La *chaudière ou réchauffeur* est formée d'un fais-

ceau tubulaire de nettoyage facile, ayant à la partie supérieure un réservoir d'eau de volume suffisant. L'eau circule de bas en haut dans l'intérieur des tubes, qui sont chauffés par la vapeur provenant des générateurs, vapeur qui les enveloppe de toutes parts. La marche de l'eau dans ces tubes est calculée de façon que celle-ci y reste environ dix minutes à une température de 125°.

L'eau à la sortie de la chaudière se bifurque de nouveau en deux courants qui marchent nécessairement en sens inverse des précédents ; chacun de ces deux courants parcourt successivement un échangeur capillaire, un échangeur à serpentins, un complément d'échangeur et un clarificateur.

Les *échangeurs capillaires* sont formés de tubes concentriques entre lesquels circulent d'une part l'eau stérilisée chaude, et d'autre part, en sens inverse, l'eau à stériliser déjà fortement échauffée par son passage à travers les échangeurs à serpentins. Les eaux étant à haute température dans ces appareils peuvent laisser quelques dépôts dont le nettoyage est rendu très facile par la nature même de leur construction, ces échangeurs étant en effet démontables dans toutes leurs parties.

Les *échangeurs à serpentins* sont la reproduction de ceux utilisés dans l'appareil Rouart. L'eau stérilisée déjà refroidie dans les échangeurs capillaires passe à l'intérieur de ces serpentins et voit sa température baisser encore grâce à la circulation de l'eau froide qui les entoure avant d'aller se réchauffer à nouveau dans les échangeurs capillaires.

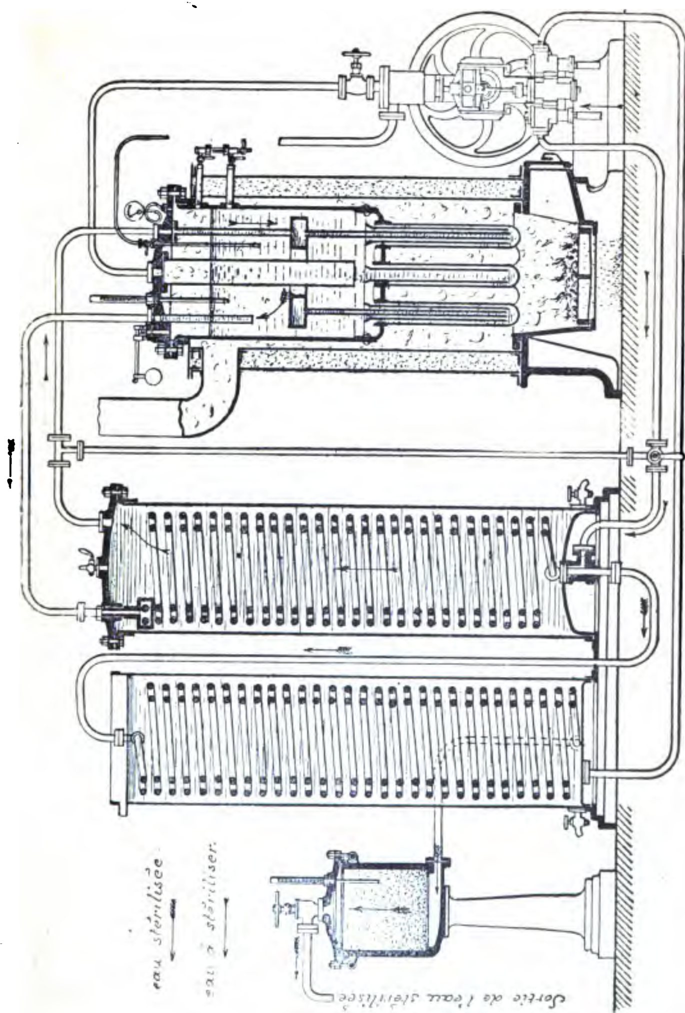


Fig. 46. — **Appareil à stériliser, grand modèle.**

Les *compléments d'échangeurs* sont, nous l'avons vu, de nouveaux serpentins où l'eau stérilisée finit de se refroidir, l'eau qui produit ce refroidissement arrive directement de la conduite principale sans passer par les filtres dégrossisseurs, et est rejetée au dehors.

Enfin, l'eau stérilisée et amenée à peu près à sa température originaire traverse deux *clarificateurs* formés chacun d'un réservoir cylindrique en fer de 0^m 500 de diamètre dans lequel sont fortement tassés sur une hauteur de 20 centimètres des grains fins de silex concassé. Un jeu de robinets permet de renverser le courant à travers cette couche de sable et de purger ainsi l'appareil de temps en temps.

Une série d'analyses chimiques et bactériologiques insérées dans le rapport présenté par G. Pouchet au Comité consultatif d'hygiène publique de France, tendent à démontrer que le chauffage à 120° n'a qu'une influence insignifiante sur les sels minéraux en dissolution, diminue de moitié environ le poids des matières organiques, et d'un peu plus de moitié le poids de l'oxygène. En ce qui concerne les microbes, l'eau a toujours été parfaitement stérilisée ; les essais de culture dans le bouillon, dans des tubes de gélatine et sur des plaques de gélatine peptonisée ont tous été négatifs.

On voit que, s'il est facile d'obtenir de l'eau sûrement stérilisée par un chauffage à 120° lorsqu'on opère sur de petits volumes, l'opération présente des difficultés pratiques assez nombreuses lorsqu'il s'agit d'opérer en grand.

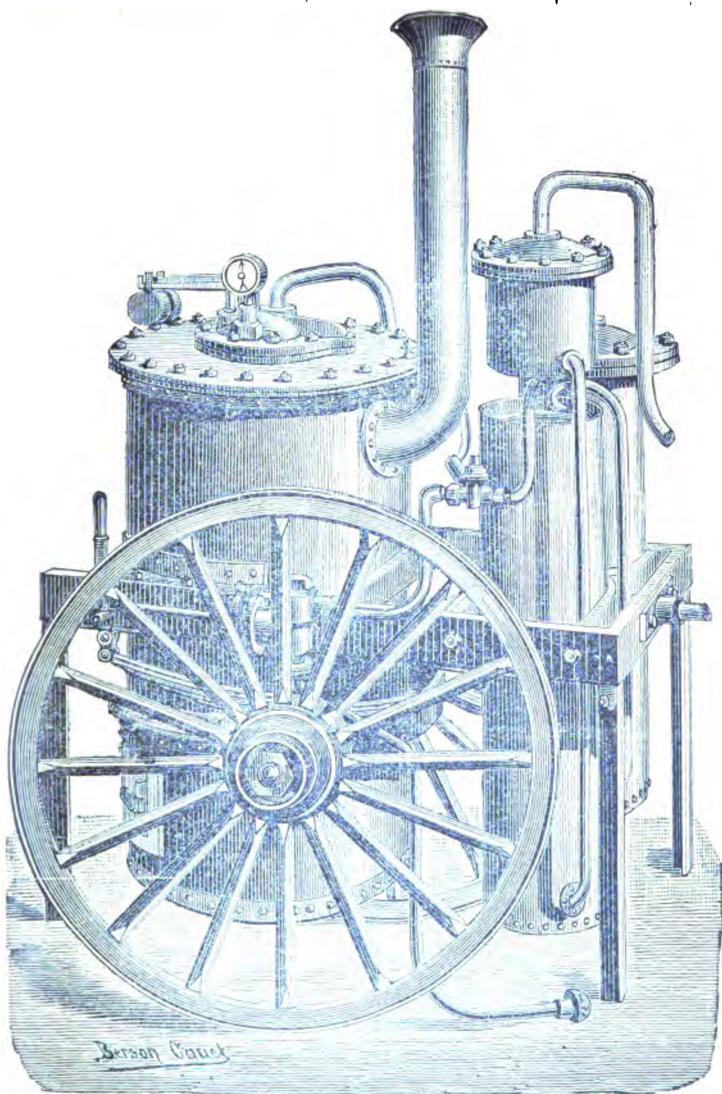


Fig. 47. — Appareil portatif Rouart, Geneste, Herscher et Cie.

Ces difficultés n'ont pas paru insurmontables aux promoteurs de cette méthode de stérilisation de l'eau, puisque Ogier a été chargé de faire un rapport favorable sur un projet d'alimentation de la ville de Parthenay au moyen de l'appareil que nous venons de décrire. Il attire l'attention sur la contamination

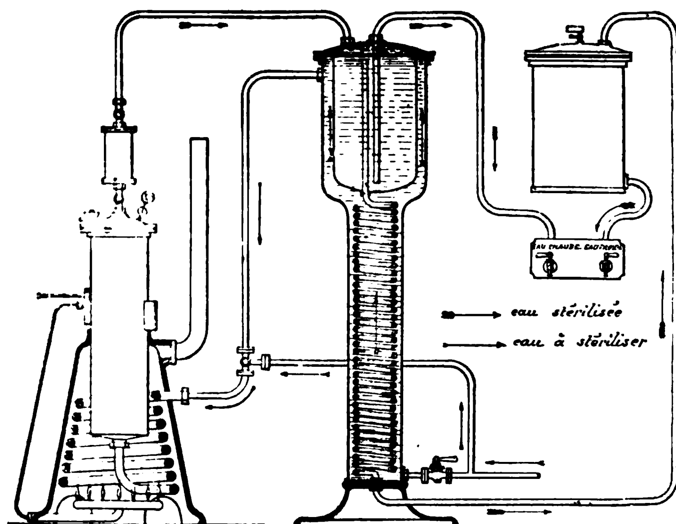


Fig. 48. — Appareil pour stériliser l'eau, petit modèle.

possible des réservoirs et sur divers autres points de l'installation. Il serait, en effet, bien malheureux qu'après avoir produit aussi laborieusement de l'eau stérilisée, on vînt à souiller ultérieurement celle-ci, dans les réservoirs, dans les conduites de distribution, etc., etc.

La Société qui exploite ces appareils de stérilisation, en a construit différents modèles, dont l'un est monté sur roues (*Fig.* 47) de façon à pouvoir être transporté facilement dans les endroits où une épidémie vient de se déclarer. On obtient ainsi un double résultat : distribuer de l'eau stérilisée à une population qui n'a à boire que de l'eau contaminée, et alors le prix de revient est d'ordre secondaire, il y a urgence ; et en second lieu, agir d'une façon heureuse sur le moral des habitants.

Je signalerai aussi le stérilisateur destiné à fournir à volonté de l'eau chaude ou froide dans les services de chirurgie et de gynécologie ; un de ces appareils (*Fig* 48), chauffé au gaz, est installé à la Clinique d'accouchement de Paris.

Stérilisateur domestique de Rouart, Geneste et Herscher.

Ces ingénieurs ont eu l'idée de construire un petit appareil bien moins compliqué, bien moins cher et bien moins volumineux que leur grand appareil industriel, et par suite pouvant être employé dans l'intérieur des habitations ; il est en effet très portatif (*Fig.* 49 *et* 50).

Il ne rappelle d'ailleurs en aucune façon l'appareil industriel, mais bien plutôt la classique cafetière russe. Il se compose d'un premier récipient en métal, dans lequel on met de l'eau à stériliser et qui peut être fermé hermétiquement au moyen d'un second récipient placé au-dessus. Il suffit de placer

l'appareil sur un foyer quelconque; l'eau emprisonnée dans un espace clos est ainsi chauffée sous pression ; une soupape de sureté et un petit manomètre complètent l'appareil. Quand l'aiguille du manomètre a atteint un trait marqué au rouge,

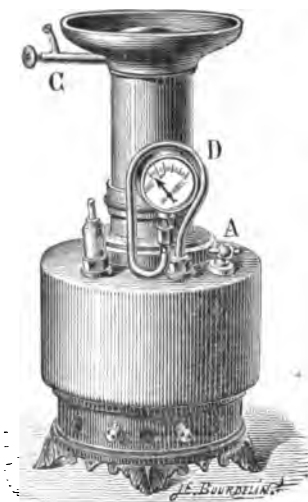


Fig. 49. — Stérilisateur domestique de Rouart, Geneste et Herscher.

l'opération est finie, on laisse refroidir et on retourne l'appareil; un robinet permet à l'eau de s'écouler. Comme celle-ci est trouble, on place sur le vase où on veut recueillir l'eau stérilisée un clarificateur, sorte de petite boîte métallique surmontée par un entonnoir et composée de lamelles de toile métallique entre lesquelles on place du sable fin.

Pour le stériliser, il suffit de le maintenir dans l'eau bouillante pendant 20 ou 25 minutes.

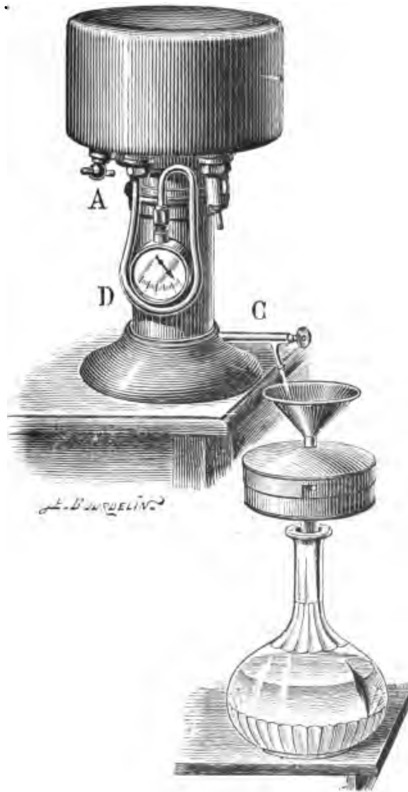


Fig. 50. — Stérilisateur en fonction.

Il s'agit là évidemment d'un appareil très ingénieux, pouvant rendre des services en temps d'épidémie, mais j'ai bien peur qu'il ne se répande pas

beaucoup. Pourquoi, en effet, se donner tant de mal pour stériliser l'eau quand on a démontré que la simple ébullition dans une vulgaire marmite suffit à détruire les microbes pathogènes?

Stérilisateur Frémont.

A la suite de l'appareil que je viens de décrire, il convient d'en citer un autre dû à Ch. Frémont et qui est aussi un appareil de ménage.

Il consiste en une bouilloire métallique dont les parois résistent à une pression supérieure à trois atmosphères. Le couvercle, comprimé à l'aide d'un ressort, laisse passer la vapeur quand l'eau entre en ébullition à 100°. En tournant en bas une manette placée sur la gauche de l'appareil, on ferme l'orifice de sortie et la pression monte. Un manomètre indicateur fixé au couvercle permet de suivre, sur un cadran gradué, la croissance de cette pression jusqu'à trois atmosphères. Il suffit de maintenir la pression à deux atmosphères pendant un quart d'heure, d'enlever la bouilloire du feu, et quand la pression est revenue à une atmosphère, on relève la manette, ce qui permet alors de verser l'eau stérilisée dans un récipient quelconque. Mais il faut, bien entendu, filtrer cette eau trouble.

Stérilisateur de Siemens (*Fig.* 51).

Comme tous les appareils de ce genre, il se compose d'un *réchauffeur b* qui consiste en un récipient

métallique hermétiquement fermé par un couvercle

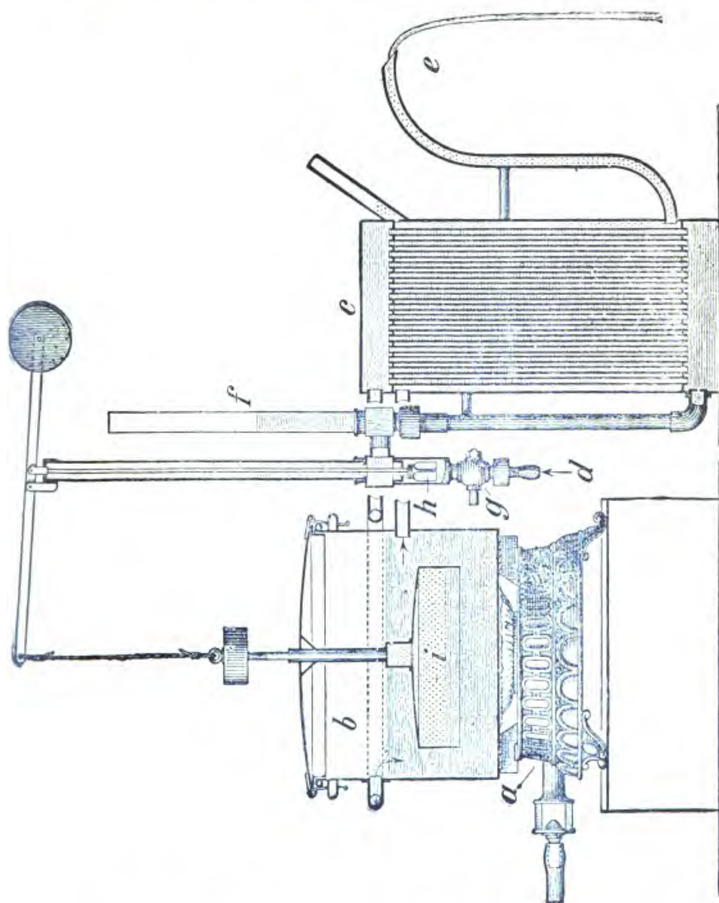


Fig. 51. — **Stérilisateur de Siemens.**

muni de ressorts placés latéralement, et d'un *réfrigérant* c alimentant le réchauffeur. Cet appareil

est muni d'un régulateur à eau destiné a donner un débit constant et d'un régulateur de température, comme on le voit sur la figure. On est ainsi assuré que l'eau aura été chauffée au degré voulu (qu'on peut d'ailleurs faire varier dans certaines limites) et pendant le temps nécessaire.

On peut obtenir 30 litres d'eau stérilisée par heure et le prix de revient serait inférieur à 2 francs 50 par 1.000 litres.

Cet appareil est chauffé au gaz.

Je comprends qu'on s'ingénie à construire des appareils aussi compliqués pour l'usage des laboratoires, mais vouloir en faire des appareils domestiques, cela me paraît d'une exagération presque naïve.

Stérilisateur de Strebel.

Il se compose de deux cylindres creux, concentriques, laissant entre eux deux un espace annulaire qu'un troisième cylindre en fer laminé, divise en deux compartiments. L'eau froide à purifier arrive par en bas dans le compartiment interne ; quand elle a bouilli, elle passe stérilisée, par dessus le bord de la cloison, dans l'espace externe, d'où elle est conduite dans un réservoir. A la faveur de la minceur de la cloison métallique, l'eau froide s'échauffe déjà en montant au voisinage de l'eau chaude, et celle-ci se refroidit en descendant. D'ailleurs, les surfaces de chauffe sont à la partie supérieure du cylindre intérieur multipliées par des

tubes transversaux. Une conduite de gaz pénétrant par la partie inférieure vient alimenter un brûleur sous ces surfaces. Une couche isolante enveloppe tout l'appareil, sauf aux points de passage des conduites diverses. L'arrivée de l'eau et celle du gaz se règlent automatiquement par de très ingénieuses dispositions.

Cet appareil donne 100 litres d'eau stérilisée par heure et dépense 7.500 litres de gaz pour 1.000 litres d'eau.

Stérilisateur de Grove (Fig. 52).

L'ensemble de l'appareil rappelle l'aspect d'une chaise de cuisine. Sous le siège se trouvent les tuyaux accouplés, en étain pur, que l'inventeur désigne sous le nom d'*appareil de refroidissement* et qui correspond à l'échangeur de température de Rouart. Sur le dossier sont fixés les conduites diverses et les autres organes indispensables. L'eau est chauffée à 105° par un brûleur à gaz, dans un *chauffeur rapide* constitué par un tuyau à ailettes. La température est indiquée par un thermomètre qui plonge dans un petit réservoir cylindrique, disposé au dessus du chauffeur et destiné, en outre de ce rôle, à égaliser la pression dans les conduites. A côté du thermomètre se trouve un disque portant une manivelle, derrière lequel sont les robinets d'arrivée de l'eau et du gaz.

Ce stérilisateur fournit, comme le précédent, 100 litres à l'heure d'eau refroidie à 17°5 ; la dépense

n'est plus que de quatre mètres cubes de gaz par

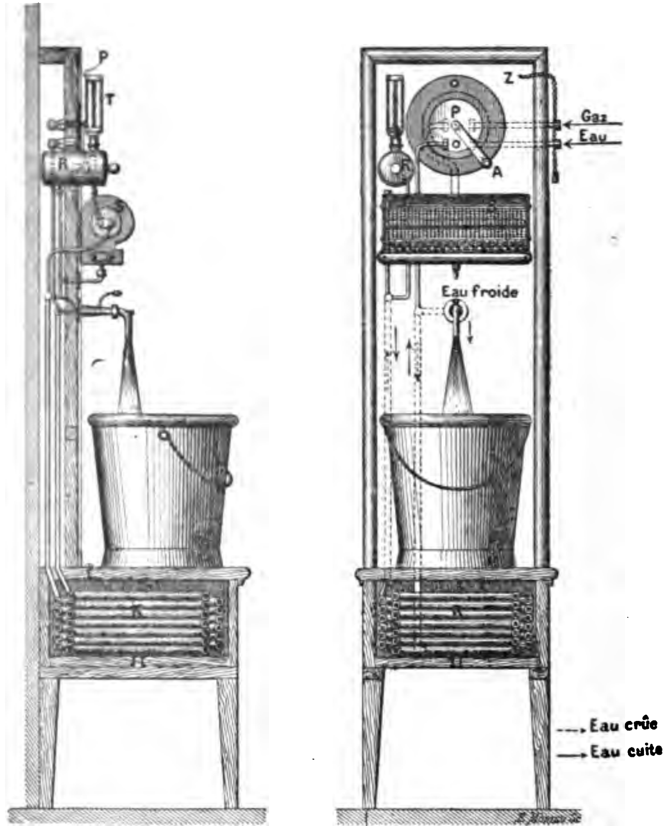


Fig. 52 Stérilisateur de David Grove, de Berlin.
K, refroidisseur; S. chauffeur rapide; R, réservoir; P, disque portant manixelle. — Z, A, trajet de la manivelle; T, thermomètre.

1.000 litres d'eau. C'est égal, c'est encore de l'eau de boisson bien chère!

III. — Conclusions.

Il est bien évident que ce qui a poussé certains médecins à demander que l'eau fût stérilisée par l'action de la chaleur, c'est la conviction, aujourd'hui démontrée absolument exacte, qu'aucun filtre connu n'arrête *tous* les microbes, en *toute* circonstance et quelle que soit *la durée* de son fonctionnement, tandis que la chaleur produit ce résultat.... dans les laboratoires. Mais nous venons de voir qu'il n'en est pas tout à fait ainsi avec les appareils industriels si faciles à déranger à cause de leur extrême complication. Je crois donc devoir m'en tenir à ce que j'ai dit de cette méthode à la fin du chapitre premier.

D'ailleurs les filtres, au moins certains d'entre eux, ne donnent-ils pas un résultat *suffisant?* Toute la question réside dans ce dernier terme. Une eau ne doit-elle être considérée comme *bonne*, c'est-à-dire comme ne présentant aucun danger au point de vue de la santé, que lorsqu'elle ne renferme plus un *seul* microbe, de quelque nature qu'il soit? Ou, au contraire, peut-on l'ingérer sans le moindre inconvénient si elle contient encore quelques bacilles, voire même quelques bacilles pathogènes? On comprend combien il est difficile de répondre d'une façon absolument certaine à une telle question. J'avoue que je pencherais volontiers pour la seconde

réponse, et ce sont les raisons suivantes qui décideraient mon choix.

Tout d'abord une expérience prolongée pendant un nombre d'années suffisant semble bien établir aujourd'hui que l'usage des filtres a diminué les épidémies, surtout celles de fièvre typhoïde et de choléra. Je sais bien que l'on pourra objecter que la filtration de l'eau n'est pas la seule cause de la diminution de la mortalité, car un grand nombre d'autres précautions hygiéniques ont été prises en même temps et ont contribué pour une part, non déterminée mais importante, à cette diminution. Ce ne sont toujours pas les savants, partisans de la propagation des maladies infectieuses rappelées plus haut par l'eau, qui pourront mettre en doute l'efficacité des filtres ; d'ailleurs il semble bien que l'on doive lui prêter une importance de premier ordre, car la diminution a suivi, partout où elle a eu lieu, d'une façon manifeste, l'installation et l'usage des filtres. Qu'il me suffise de citer le passage suivant d'une revue du docteur J. Arnould, parue en 1893 et à laquelle j'ai déjà fait de nombreux emprunts : « Nous avons vu qu'en pratique aucun des filtres employés jusqu'ici ne donne constamment et indéfiniment de l'eau stérile ; il s'agit toujours d'une réduction plus ou moins considérable de la proportion des germes, mais pas plus. Cependant, Londres, Berlin et d'autres villes, qui usent des filtres à sable, ont une mortalité générale assez modérée et une léthalité typhoïde très faible. La petite épidémie typhoïde de Berlin, en 1889, n'est pas comparable pour l'intensité à celles

qu'éprouvait autrefois cette capitale ; elle semble prouver plutôt que les filtres ont protégé la population, — en même temps que d'autres remarquables travaux d'assainissement. Les filtres passent pour avoir valu à Altona une immunité relative vis-à-vis du choléra qui dévastait la ville-sœur, Hambourg. Lyon n'a pas une mortalité typhoïde excessive, 23 pour 100.000 habitants ; encore le professeur Teissier accuse-t-il l'usage de l'eau des puits et non celle des galeries filtrantes. Dans l'armée française, où le filtre Chamberland est très répandu, la mortalité s'abaisse, la fièvre typhoïde semble être moins fréquente, et le choléra de 1892 a passé inaperçu. »

Dans l'eau, ce qui est le plus à redouter au point de vue bactériologique, ce sont évidemment les microbes pathogènes ; or, il semble bien démontré aujourd'hui que ceux-ci ne trouvent pas dans l'eau un milieu de culture qui leur convienne et y meurent par conséquent au bout d'un temps assez court. Il n'en restera donc le plus souvent qu'un très petit nombre, et si le filtre en laisse passer au bout d'un certain temps de fonctionnement, ce nombre sera encore fortement diminué. Or, il est fort probable que l'éclosion d'une maladie chez un individu doit être *en partie* fonction du nombre des microbes pathogènes qui l'envahissent. Les filtres diminuent donc dans de fortes proportions les chances de maladies, et il ne paraît pas nécessaire de faire la dépense considérable de la stérilisation par la chaleur pour atteindre ces rares microbes qui ont pu échapper au filtre.

Enfin. la plupart des filtres arrêtent non seulement tous les éléments figurés, morts ou vivants, mais aussi une proportion variable des corps dissous. Les stérilisateurs par la chaleur tuent les microbes vivants, mais leurs cadavres restent dans l'eau ainsi que les substances dissoutes, car ce n'est pas le petit filtre de sable placé à la fin des appareils, et encore pas dans tous, sur lequel on pourrait compter pour retenir tous les corps en suspension.

Or, si on ne sait pas encore beaucoup de choses sur la nocuité ou l'innocuité de ces corps insolubles, il est un fait bien remarquable et bien étonnant qui a été mis en lumière d'une façon tout à fait indiscutable par Straus et Gamaleïa, c'est que les corps morts du bacille de Koch sont capables, tout comme les bacilles vivants, de donner la tuberculose. Il ne suffit donc pas de tuer les microbes, il faut encore les arrêter au passage, les éliminer morts ou vivants de l'eau.

En résumé, je rappellerai les conclusions que j'ai formulées à la fin du chapitre des généralités, concernant l'alimentation des agglomérations en eau potable :

1° Procurer aux habitants, autant que possible, de l'eau de source ;

2° Dans le cas où cette adduction est impossible, utiliser des eaux de rivières ou de lacs, et purifier celles-ci ;

3° Recommander l'installation de filtres bien

construits dans chaque habitation, que l'eau provienne d'une source ou ait été préalablement purifiée dans une usine centrale, afin d'éliminer les microbes qui auraient pu la souiller dans son parcours.

BIBLIOGRAPHIE

1839. Filtrations publiques, par Fonvielle.

1841. Filtrage de l'eau en grand, par Souchon.

1855. Des eaux potables, par Eug. Marchand. Mém. de l'Académie de Médecine, 1855.

1873. Etudes sur les filtres et sur l'eau des fontaines de Toulouse, par F. Garrigou.

1874. Des eaux potables et de leur purification, par L. Montfort (Thèse de la Faculté de Paris).

1876. Un nouveau filtre (Autier et Allaire), par Ch. Bontemps (La Nature, avril 1876, p. 352).

1876. Etudes hygiéniques sur les qualités organoleptiques des eaux potables, par. E. Atgier (Thèse de la Faculté de Paris).

1877. Traité des maladies infectieuses, par Griesinger et Vallin.

1878. Les eaux potables, causes des maladies épidémiques, par Renoir.

1879. Expériences sur les filtres et la filtration, par le docteur de Chaumont (The sanitary Record, 28 mars 1879, p. 202).

1879. Sur certains point concernant l'eau potable, par le

docteur de Chaumont (The sanitary Record, 15 novembre, p. 163).

1881. Appareils à filtrer l'eau, à l'Exposition internationale médicale et sanitaire de Londres, par A.-J. Martin (Revue d'hygiène, p. 1012).

1881. Procédé pour rendre potables les eaux magnésiennes et séléniteuses, par Strohl et Bernou (Annales d'hygiène publique et de médecine légale, 3e série, tome VI, p. 481).

1881. Citernes filtres de l'Ouest algériens (Génie civil, 15 juillet).

1881. Recherches expérimentales sur le passage des liquides à travers les substances perméables et les couches filtrantes, par Brunhes (Mémoires de l'Académie des Sciences de Toulouse).

1881. Recherches sur la richesse en germes des eaux de boisson et des eaux d'usage, par Wolfhugel (Arb. A. D. R. Gesundh, t. I).

1882. Des mesures à prendre contre l'infection du sol par les puisards, par Du Mesnil (Ann. d'Hyg., 3e série, tome VII, p. 75).

1882. Les controverses récentes au sujet de l'assainissement des villes, par J. Arnould (Ann. d'Hyg., 3e série, tome VIII, p. 5).

1882. De l'influence des filtres naturels sur les eaux potables, par le docteur Rollet au Congrès d'hygiène de Genève (Revue d'hygiène, p. 816).

1882. Filtre Hyatt (Génie civil, t. II, nº 23).

1883. Etiologie et prophylaxie de la fièvre typhoïde, par J. Arnould (Annales d'Hyg., 3e série, tome VIII, p. 202, 330, etc.).

1883. La filtration industrielle, par G. Richou (La Nature, février).

1884. Les filtres à l'Exposition d'hygiène de Londres, par E. Vallin (Revue d'hygiène, p. 595).

1884. De la stérilisation des eaux potables par la chaleur, par le docteur Miquel (Semaine médicale, p. 301).

1884. Des microbes des maladies dans l'air et dans l'eau. Conférence faite le 3 août 1884, par Chamberland, directeur du laboratoire de M. Pastéur.

1884. Un filtre parfait (La Nature, 30 août, p. 199).

1884. Nouveau filtre Hyatt (Génie civil, t. V, p. 319, 6 septembre).

1884. Filtres électriques (La Nature, septembre, p. 270).

1884. Les eaux potables, par H. et F. Marié-Davy (Génie civil, t. V, p 423, 18 octobre).

1884. Eau pure et air pur. Des Filtres, par Ern. Muller (Génie civil, t. VI, p. 21, 8 novembre).

1884. Filtrage domestique des eaux, procédé Richard (La Nature, décembre, p. 43).

1885. Des caractères chimiques des eaux potables. Discussion par MM. Depaire, Van der Corput, Vande Vyvere, Crocq, Wekendel (Société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, décembre 1884, janvier, février et mars 1885).

1885. Effet d'un repos prolongé sur la pureté de l'eau et filtrage par la porcelaine, par H. Fol et L. Dunant (Revue d'hygiène, p. 183).

1885. Note sur l'emploi des filtres en terre poreuse pour la stérilisation à froid des liquides organiques, par MM. Bourquelot et Galippe (Journal des connaissances médicales, 19 février).

1885. Réponse de Chamberland (Tribune médicale, p. 106).

1885. Purification des eaux destinées à l'alimentation, au moyen du fer (Génie civil, t. VI, p. 177, 10 janvier).

1885. L'aérifiltre (Génie civil, t. VI, p. 322, 14 mars).

1885. Filtrage domestique des eaux (La Nature, p. 234, 14 mars).

1885. Filtre Johnson (La Nature, p. 365, 9 mai).

1885. Rapport sur le filtre Chamberland, par M. Miquel, adressé au recteur de l'Académie de Paris, le 6 juillet.

1885. The removal of microorganisms from water, by P. Frankland (Proceedings of the Royal society, n° 238, et British medical journal, 7 novembre, p. 874).

1885. Aéri-filtre Mallié (La Nature, 5 décembre, p. 11).

1886. Filtre Maignen (La Nature, 20 mars, p. 244).

1886. Appareil Anderson pour la purification des eaux au moyen du fer, par G. Richou (Génie civil, t. IX, 7 août, p. 234).

1886. Filtres : Revue de l'Exposition d'hygiène urbaine de 1886, par le docteur V. du Claux (Annales d'hygiène, 3e série, tome XV, p 542).

1886. L'Exposition d'hygiène urbaine, par le docteur Richard (Revue d'hygiène, p. 369).

1886. Sur la filtration des microbes. Revue critique, par E. Vallin (Revue d'hygiène, p. 506).

1886. De la valeur des graines de Strychnos potatorum L. (tettan cotté des Indiens, clearing-nutt des Anglais), pour la purification des eaux, par le docteur Viaud (Gazette des hôpitaux).

·1886. Sur la filtration de l'eau (compte rendu de la section d'hygiène de la 59e réunion des naturalistes et médecins allemands, tenue à Berlin du 18 au 24 septembre 1886, in Revue d'hygiène, p. 1059).

1886 Purification de l'eau par les agents chimiques ; procédé du professeur Debroslavine, de Saint-Pétersbourg, (thèse de Ziembicki, Saint-Pétersbourg).

1886. Die Filter für Haus und Gewerbe, par Richard Krueger (A. Hartleben).

1886. Untersuchungen über die Wirkung des sandfilter des stadtischen Wasserwerks in Zurich, par A. Bertschinger.

1886. Recherches sur l'action désinfectante de la chaux, par P. Liborius (Zeitschrift für Hygiene).

1887. Principes pour obtenir de l'eau pure au moyen de la filtration, par Piefke (Schillings Journal, p. 604).

1887. Filtration de l'eau de la Sprée, par Plagge et Proskauer (Zeitschrift für Hygiène, p. 401).

1887. Mémoire adressé à l'Académie des sciences, par M. Tellier, ingénieur, sur l'emploi de l'eau bouillie à l'aide d'un appareil permettant de cuire l'eau à une température élevée, de la conserver aérée, de la filtrer ensuite et de filtrer également l'air qui rentre dans l'appareil pour remplacer l'eau consommée.

Mémoire présenté aussi à la Société de médecine pratique le 25 mai.

1887. Filtre en porcelaine de W. Hesse (Revue d'hygiène, p. 75).

1887. Sur les filtres à micro-membranes de Breyer (Analyse critique des Mémoires du docteur H. Büch-

ner et du docteur F. Renk, par J. Arnould (Revue d'Hygiène, p. 77).

1887. Enquête sur une épidémie de fièvre typhoïde qui a régné à Pierrefonds, par P. Brouardel (Ann. d'Hyg., 3e série, tome XVII, p. 97)

1887. Épidémie de fièvre typhoïde qui a régné à Clermont-Ferrand, par Brouardel et Chantemesse (Ann. d'Hygiène, 1887, 3e série, tome XVII, p. 385).

1887. Des modes de propagation de la fièvre typhoïde, Conférence au Congrès d'hygiène de Vienne, par P. Brouardel (Ann. d'Hyg., 1887, tome XVIII, p. 385).

1887. L'eau potable et la fièvre typhoïde, par Allix.

1888. Contribution à l'étude des eaux potables, par H. et F. Marié-Davy (Génie civil, t. XII, 21 janvier, p. 184).

1888. Filtration et épuration des eaux par le fer, par G. Richou (Génie civil, t. XIII, 18 août, p. 246).

1888. Bulletins annuels sur l'alimentation de la ville de Zurich et de ses environs (1885-1888).

1888. Contribution à l'étude des divers modes de transmission de la fièvre typhoïde, par Modelsky.

1889. Filtres à domicile et eaux potables, par A.-J. Snijders (Deut. Med. Wochenschrift, 31 janvier).

1889. Purification des eaux potables par la filtration, par le capitaine L. Gody (Le Mouvement scientifique, mars).

1889. Les microbes des eaux. Revue critique par Duclaux (Annales Pasteur, p. 559).

1889. Congrès d'hygiène et de démographie tenu à Paris en 1889 (Revue d'hygiène, p. 733).

1889. Recherches sur la désinfection des sources et la teneur en germes de la nappe souterraine, par le docteur C. Fraenkel (analysées in Revue d'hygiène, p. 857).

1889. Aphorismes sur l'alimentation d'eau au point de vue technique et hygiénique, par Piefke (Zeitschr. f. Hygiène, t. VIII, p. 115)

1889. Recherches sur l'action des filtres à sable de Zurich, par A. Bertschinger (Vierteljahrschr. d. naturf. Gesellschaft in Zurich).

1889. L'eau de boisson de la ville de Berlin est-elle sûrement dépouillée de ses éléments nuisibles par la filtration? par C. Frænkel (Deutsch. med. Wochenschrift., p. 1021).

1889. Répartition de la fièvre typhoïde en France, par P. Brouardel (Ann. d'Hyg, 3e série, tome XXI, p. 5).

1889. Les eaux potables et les maladies évitables, par Maignen.

1889. Les eaux potables, par E. Prothière.

1889. Analyse des eaux potables et détermination rapide de leur valeur hygiénique, par A. Zune.

1889. Nouveaux éléments d'hygiène, par J. Arnould. 2e édition. Paris, 1889.

1890. Le filtrage des eaux. Revue critique, par Duclaux (Annales Pasteur, p. 41).

1890. Les microbes des eaux, par H. Mamy (Génie civil, t. XVI, 12 avril, p. 468).

1890. Epuration des eaux, par Max de Nansouty (Génie civil, t. XVII, 12 juillet, p. 169).

1890. Sur l'assainissement spontané des fleuves à propos des eaux du Rhône, par P. Cazeneuve (Revue d'hygiène, p. 210).

1890. Expériences sur les dépôts boueux des filtres de porcelaine, par le docteur E. Vallin (Revue d'hygiène, p. 289).

1890. Sur le projet d'amélioration et d'extension du service des eaux de la ville de Lyon. Rapports présentés au Conseil d'hygiène et de salubrité du département du Rhône, par le professeur Arloing, les 24 avril et 3 juillet.

1890. Utilisation de l'eau fluviale pour les distributions d'eau, par W.-H. Lindley, ingénieur municipal de Francfort-sur le-Mein (D. Vierteljahrschrift für œffentl. Gesundheitspflege XXII, p. 191).

1890. Nettoyage des filtres Chamberland (Annales d'hygiène, 3e série, tome XXIV, p. 288).

1890. Filteraulagen für stadtische Wasserleitungen, par le professeur C. Faernkel et par C. Piefke (Rapport présenté au 26e congrès des hygiénistes à Brunswick, septembre).

1890. A propos de l'utilisation de l'eau bouillie dans l'alimentation, par M. Guinard (Lyon médical, 10 avril 1890, p. 499). Analyse critique par E. Vallin (Revue d'hygiène, 1891, p. 83).

1890. Présentations à la Société de médecine publique le 26 novembre : 1° du nettoyeur mécanique O. André appliqué au filtre Chamberland; 2° du stérilisateur de MM. Rouart.

1890. Alimentation en eau de la ville de Toulouse, par P. Brouardel et J. Ogier (Ann. d'hyg., 1890, tome XXIV, p. 385).

1890. La fièvre typhoïde en France, par P. Brouardel (Ann. d'hyg., 1890, tome XXIV, p. 481).

1890. Contribution à l'étude de la fièvre typhoïde par les eaux potables, par Schoofs.

1890. Traité de l'hygiène publique, par le docteur Albert Palmberg, traduit du suédois par A. Hamon.

1891. L'eau de Seine et l'épurateur rotatif Anderson, par Foris (Génie civil, t. XVIII, p. 231, 7 février).

1891. Épuration des eaux pour l'alimentation des villes, par P. Lauriol (La Nature, mars).

1891. L'eau filtrée à Nantes et le puits Lefort, par Max de Nansouty (La Nature, avril).

1891. Filtre Chamberland, système Pasteur, à nettoyeur mécanique O. André, par M. Richou (Génie civil, t. XVIII, p. 769, 4 avril).

1891. L'eau filtrée à Nantes et le puits Lefort, par le professeur Jouon (Revue d'hygiène, p. 119).

1891. De la stérilisation des filtres Chamberland par l'étuve Geneste et Herscher, par le docteur Linon (Archives de médecine et de pharmacie militaires. mai, p. 406).

1891. De l'alimentation des eaux potables des villes par les cours d'eau, par E. Gautrelet (Génie civil, t. XVIII, p. 365, 4 avril).

1891. L'alimentation publique en eau potable devant le Comité consultatif d'hygiène de France (1884-1890). Rapport présenté par le docteur H. Monod, directeur de l'assistance et de l'hygiène publiques.

1891. Ueber Filtration durch Filter aus gebraunten Infusorienerde, par le docteur H. Nordtmeyer, de Breslau (Zeitschrift für Hygiene. X, p. 144)

1891. Die Filtration Bacterientruber und eiweisshaltiger Flüssigkeiten durch kieselguhrfilter, par le docteur H. Bitter (Zeitschrift für Hygiene. t. X, p. 155).

1891. Congrès international d'hygiène de Londres (août).

1891. Epuration et stérilisation des eaux de boisson, par A. Riche (Journal de pharmacie et de chimie, 1[er] août),

1891. Etude critique des procédés d'épuration et de stérilisation des eaux de boisson, par le docteur Pouchet (Recueil des travaux du Comité consultatif d'hygiène de France, et Annales d'hygiène, 3[e] série, XXV, p. 305).

1891. Les récents perfectionnements de la filtration pastorienne de l'eau, par G.-A. Revel (Revue générale des sciences, p. 397).

1891. Le filtrage des eaux de fleuves. Revue critique, par Duclaux (Annales Pasteur, p. 257).

1891. Etude sur la purification des eaux courantes, par Ch. Carrière (Transactions of the American Society of civil Engineers, p. 21).

1891. Die Gewirmung von sterilen Wasser in grœsster Menge auf dem kalten Wege der Filtration, par von Fr. Breyer, Wien).

1891. Deux épidémies de fièvre typhoïde, par P. Brouardel et Thoinot (Ann. d'hyg., 3[e] série, tome XXV, p. 231).

1891. Les maladies évitables ; variole, fièvre typhoïde, par

P. Brouardel (Ann. d'hyg., 3e série, tome XXV, p. 43).

1891. La rivière la Divette et la fièvre typhoïde à Cherbourg, par Du Mesnil (Ann. d'hyg., 3e série, tome XXV, p. 127).

1891. Les eaux de boisson et la fièvre typhoïde à Brest, par Du Mesnil (Ann. d'hyg., 3e série, t. XXVI, p. 138).

1891. Les eaux consommées à Toulon, Lorient, Rochefort, et la fièvre typhoïde dans l'armée de mer, par Du Mesnil (Ann. d'hyg., 3e série, tome XXVI, p. 318).

1891. Manuel pratique d'analyse bactériologique des eaux, par le docteur Miquel.

1892. Examens des eaux d'alimentation, Revue critique par Duclaux (Annales Pasteur, p. 58).

1892. Revue annuelle d'hygiène, par L. Olivier (Revue générale des sciences, p. 199).

1892. L'épuration des eaux, système Desrumeaux, par F. Desquiens (Génie civil, 9 avril).

1892. Filtration de l'eau par filtre en pierre, par E.-V. Emarch (Centralblatt für Bacteriologie und Parasitenkunde, 23 avril).

1892. Nouveau système d'épuration des eaux industrielles et domestiques (Supplément du 30 avril à la Revue générale des sciences).

1892. Appareil pour l'obtention d'eau stérilisée pour les usages chirurgicaux et bactériologiques, par W. Merke (Berliner klinische Wochenschrift, 4 juillet).

1892. Lacunes de la législation en ce qui concerne l'eau potable, par E. Trélat (Génie civil, 9 juillet).

1892. Stérilisation de l'eau par la limaille de fer, par V. et A. Babès (Académie de médecine, juillet).

1892. Projet d'épuration des eaux de la Divette par les puits filtrant du système Lefort (Ann. d'hyg., 1892, 3e série, tome XXVII, p. 289).

1892. Epuration de l'eau de boisson, par Burlureaux (Archives de médecine expérimentale IV, p, 581).

1892. Stérilisation de l'eau par le permanganate de potasse, par Mlle Schipiloff (Revue médicale de la Suisse romande).

1892. Obtention d'une eau exempte de germes, par B. et F. Babès (Centralblatt für Bacteriologie und Parasitenkunde, 30 juillet).

1892. Sur la perméabilité des filtres Chamberland par les bactéries, par Ed. von Freudenreich (Centralblatt für Bacteriologie und Parasitenkunde (18 août).

1892. Sur la séparation des bactéries de l'eau dans de grands bassins, par Karlinski (même recueil, même date).

1892. Autopurification des cours d'eau, par L. Pfeiffer et L. Eisenlohr. Diminution des substances organiques dans l'eau par les algues, par Th. Bokorny (Archiv f. Hygiene, de Munich et Leipzig).

1892. Recherches sur le passage des solutions de caséine à travers la porcelaine, par L. Hugounenq, professeur à la Faculté de Lyon (Journal de pharmacie et de chimie, août).

1892. Influence de l'eau non filtrée sur la propagation de la fièvre typhoïde à Buda-Pest, par Korosi (Deutsche Viertelj. f. Gesundheitspflege, 1892, et Ann. d'hyg., 3e série, tome XXVIII, p. 156).

1892. De l'influence des filtres minéraux sur les liquides contenant des substances d'origine microbienne, par M. Arloing (Comptes-Rendus de l'Acad. des Sc., CXIV, p. 1455).

1892. De l'acide citrique comme moyen de stérilisation de l'eau pendant les épidémies de choléra, par le docteur J. Christmas (Médecine moderne, p. 577, et Mercredi médical du 12 octobre, p. 487).

1892. Recherches chimiques et bactériologiques sur les boues des filtres Chamberland, par E. Lacour (Revue d'hygiène, p. 465).

1862. Stérilisation des eaux par la chaleur, par A. J. Martin (Revue d'hygiène, p. 507).

1892. Filtre de campagne pour les troupes en marche, par J. Laffargue (La Nature, 7 mai).

1892. La stérilisation des eaux par la chaleur, au point de vue de l'alimentation publique, par M. Lesieur (Thèse de Paris).

1892. Purification de l'eau, par le professeur Albert Leeds (Chemical News).

1892. Les eaux de Cayenne, par G. Richou (Génie civil, t. XXI; p. 387, 8 octobre).

1892. Epuration des eaux potables par l'électricité, par Max de Nansouty (même recueil, même date).

1892. Installation de filtrage des eaux à Libourne, par F. Delaunoy (Génie civil, t. XXI, p. 53, 28 mai).

1892. Batteries de filtres Chamberland, système Pasteur, à nettoyeur mécanique O. André, installé au Grand-Hôtel à Paris, par G. Renel (Génie civil, t. XXI, p. 167, 9 juillet).

1892. L'eau potable dans la banlieue de Paris (conclu-

sions d'un rapport présenté le 28 novembre 1892, au Ministère de l'Intérieur par le Comité consultatif d'hygiène.

1892. Projet d'alimentation de la commune de Parthenay en eau stérilisée, par J. Ogier (Ann. d'hyg., 1892, 3e série, tome XXVIII, p. 289).

1892. Les eaux d'alimentation, par Max de Nansouty (Génie civil. t. XXII, p. 65, 3 décembre).

1892. De la pollution des rivières et de leur purification, par Ch. Heinrich-Chéret (Génie civil, t, XXII, p. 88, 10 déc.).

1892. Distribution d'eau de Southampton, par T. C. H. (même recueil, même date).

1892. Igiene delle acque, par l'ingénieur Donato Spataro (Milan).
Provista delle acque, id.

1892. Bericht über die bakteriologische Untersuchung der Kœnigsberger Wasserleitungwassers in der Zeit von december 1890 bis december 1891, par H. Laser (Centralblatt für allgemeine Gesundheitspflege, XI, nos 4 et 5).

1892. Zur Prüfung der Pasteur-Chamberland-Filter, par E. Smith et V. A. Moore (Centralblatt f. Bakteriol. und Parasitenkunde, XII. 18).

1892. Methode zur Prüfung von Filtereinrichtungen wie die Chamberland-Bougies, par G. Giltay et J. H. Aberson (même recueil, XII, 2 et 3).

1892. Kübler, in Hygienische Rundschau, no 23.

1892. Précis d'analyse microbiologique des eaux, suivi de la description et de la diagnose des espèces bac-

térienncs des eaux, par le docteur Gabriel Roux. Paris, 1892.

1893. Nouveaux appareils pour la stérilisation de l'eau (supplément du 30 janvier à la Revue générale des sciences).

1893. Remarque sur la communication de Kübler à propos du filtre Chamberland, par von Freudenreich.

Remarque sur la réponse précédente, par Kübler (Hygienische Rundschau, de Berlin. 1er janvier)

1893. Sur la possibilité de retarder considérablement la propagation des bactéries à traves les filtres en biscuit, par P. Miquel (Annales de micrographie. Avril).

1893. Recherches sur l'utilité du filtre Berkefeld, par Martin Kirchner (Zeitschrift für Hygiene, 26 mai.

1893. Filtre à amiante, par C. Nette (Génie civil, 1er juill.).

1893. Stérilisation rapide de l'eau et du lait, par Ch. Frémont (Supplément du 15 août à la Revue générale des sciences).

1893. Expériences sur le filtre Chamberland, système André, par E. Guinochet (Archives de médecine expérimentale, t. V. 1er septembre, p. 646).

1893. Essais et valeur relative des filtres à eau, par M. Grüber (Centralblatt für Bacteriologie und Parasitenkunde, 16 octobre).

1893. Etude des filtres à eau, par Kirchner (Centralblatt für Bacteriologie und Parasitenkunde, 20 octobre).

1893. Expériences sur le filtre Chamberland, par E. Guinochet (Journal de pharmacie et de chimie, 5e série, t. XXVIII, 1er octobre, p. 324 et 1er novembre, p. 399).

1893. Un nouveau filtre, par G. Mareschal (La Nature, novembre).

1893. Le nettoyage des filtres Chamberland, par E. Lacour (Revue d'hygiène, octobre).

1893. Appareil pour stériliser l'eau par l'ébullition (Berliner Klinische Wochenschrift, octobre).

1893. A simple method of sterilising water for domestic purposes, by Francis Watt (The chemical News, vol. 68, n° 1768. p. 178).

1893. Ueber das Grundwasser von Kiel mit besonderer Berücksichtigung seines Eisenhaltes und über Vesuge zur Entfernung des Eisens aus demselben, par B. Fischer (Zeitschrift für Hygiene und Infections Krankheiten, XIII, p. 251).

1893. Untersuchungen über die Brauchbarkeit der « Berkefeld-Filter » aus gebraunter Infusiorenerde, par le docteur Martin Kirchner (Zeitschrift für Hygiene und Infectionskrankheiten, XIV, p. 299).

1893. Wasserfiltration und cholera (Même recueil, XIV, p. 393).

1893. Appareil de stérilisation de l'eau, par H. Laser (Centralblatt für Bacteriologie und Parasitenkunde, 9 décembre).

1893. Purification de l'eau, par G. Chicandard (Le Progrès thérapeutique, n° 14, décembre).

1893. Le procédé de Babès pour obtenir de l'eau pure de germes, par Max. Teich (Archiv für Hygiène, XIX, p 62).

1894. Purification des eaux, par Coreil (Annales d'hygiène publique, janvier 1894, tome XXXI).

1894. Le nettoyage des filtres Chamberland, par E. Lacour (Journal de pharmacie et de chimie, 5e série, t. XXIX, 15 février, p. 159).

1894. Sur l'utilité du filtre Berkefeld, par Kirchner (Zeitschrift für Hygiène und Infectionskrankheiten, XV, 1re partie).

1894. La purification spontanée des eaux de fleuves, revue critique par E. Duclaux (Annales de l'Institut Pasteur, p. 117 et p. 178).

1894. L'eau dans l'industrie, par P. Guichard (Encyclopédie de chimie industrielle).

1894. Projet de forage d'un nouveau puits artésien à Saint-Denis, par le docteur O. Du Mesnil (Annales d'hygiène, avril 1894, tome XXXI, p. 360).

TABLE DES MATIÈRES





